

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-045214

(43)Date of publication of application : 16.02.1996

(51)Int.Cl.

G11B 21/21

G11B 5/60

(21)Application number : 07-126356

(71)Applicant : QUANTUM CORP

(22)Date of filing : 25.05.1995

(72)Inventor : HATCH MICHAEL R
WILLIAMS STEPHEN P
WANG JWO-MIN

(30)Priority

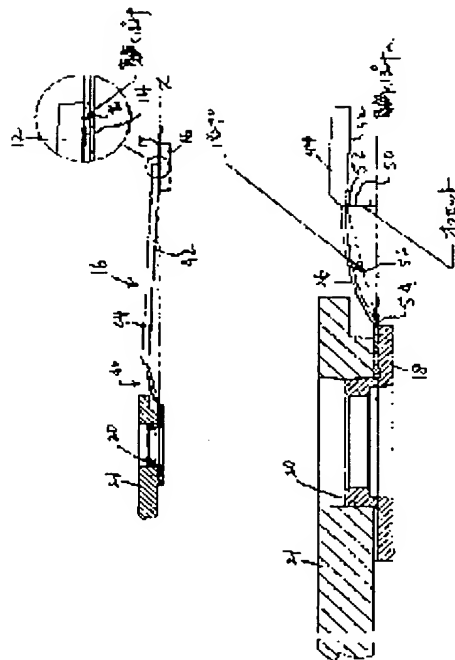
Priority number : 94 249525 Priority date : 26.05.1994 Priority country : US

(54) LOAD BEAM AND FORMATION THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a load beam for enhancing the stability of tracking of a read/write head structure with respect to the data track on a rotary data memory disc.

CONSTITUTION: The mass and rigidity of the load beam 16 of a loaded head- ginnal assembly 'HGA' are redistributed from a really flat state by means of bump and offset optimized along the spring section 26 of load beam. Consequently, the first torsional resonance mode can be modified to eliminate coupling between a drive actuator head arm 21 and a head slider substantially.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.03.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 24.11.1998

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection] 11-02691[Date of requesting appeal against examiner's decision of
rejection] 22.02.1999

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-45214

(43) 公開日 平成8年(1996)2月16日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 21/21	A	9294-5D		
5/60	Z	7811-5D		

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願平7-126356

(22) 出願日 平成7年(1995)5月25日

(31) 優先権主張番号 2 4 9 5 2 5

(32) 優先日 1994年5月26日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 591179352

クウォンタム・コーポレーション
QUANTUM CORPORATION
アメリカ合衆国、95035 カリフォルニア
州、ミルピタス、マッカーシー・ブールバ
ード、500

(72) 発明者 マイケル・アール・ハッチ

アメリカ合衆国、94040 カリフォルニア
州、マウンテン・ビュー、ウッドリーフ・
ウェイ、2163

(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

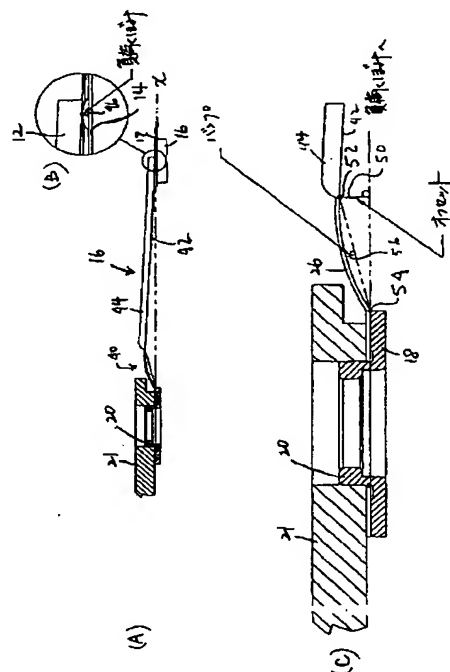
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 負荷ビームおよびその形成方法

(57) 【要約】

【目的】 回転データ記憶ディスク上のデータトラック
に関して読出／書込ヘッド構造のトラッキングの安定性
を向上する負荷ビーム構造を提供する。

【構成】 負荷がかけられた状態にあるヘッドジンバ
ルアセンブリ (「HGA」) の負荷ビーム (16) のば
ねセクション (26) に沿った最適化されたバンプおよ
びオフセットにより、真に平坦な状態から負荷ビームの
質量および剛性の分布を再分布し、その結果、第1のね
じれ共振モードのモード形状は、ドライブアクチュエ
ータヘッドアーム (21) とヘッドスライダとの結合を実
質的になくすように変えられる。所望のバンプおよびオ
フセットをつくり出すための製造方法と、最低化された
バンプおよびオフセットパラメータが達成されたことを
確かめるための特徴づけの方法も開示される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回転データ記憶ディスクと近接するように負荷がかけられたときに、ディスクドライブのヘッドージンバルアセンブリ内でねじり利得が 0 になるように、形成されていない負荷ビームを形成するための方法であって、前記負荷ビームは、ヘッドアームに取付けられる接続部と、前記接続部から延びるばね部と、前記ばね部から延びる補強部と、前記補強部から延び、ヘッドスライダをジンバルで装着するためのスライダージンバル部とを含む、

(a) ねじれモードの共振を決定するために、量子化法で前記ヘッドージンバルアセンブリを定量的に特徴づけるステップと、

(b) ステップ (a) で定量的に特徴づけられた前記負荷ビームの最適なバンプおよびオフセットパラメータを決定するステップと、

(c) ステップ (b) の決定から、負荷がかけられていない状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルにそった塑性の曲率の大きさを決定するステップと、

(d) ステップ (c) の塑性の曲率の決定から、前記ばね部の側面のプロファイルに沿った全曲率量を決定するステップと、

(e) ステップ (d) で決定された全曲率量に従って形成ダイのプロファイルを決定するステップと、

(f) ステップ (e) で決定されたプロファイルに従って形成ダイ手段の輪郭をつけるステップと、

(g) 前記ばね部を、ステップ (f) で形成された前記形成ダイの輪郭に従うようにすることにより、形成されていない負荷ビームを、形成された負荷ビームにするステップとを含む、方法。

【請求項 2】 前記接続部と前記スライダージンバル部とを加えることにより前記形成された負荷ビームを前記ヘッドージンバルアセンブリに組立て、前記組立てられたヘッドージンバルアセンブリを前記回転データ記憶ディスクと近接して動作するように取付けるステップをさらに含み、前記形成された負荷ビームが負のバンプおよび負のオフセットのうちの少なくとも 1 つを示し、前記回転データ記憶ディスクに隣接する動作位置において所望のグラム負荷を与える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】 量子化法を用いてねじれ共振に関してヘッドージンバルアセンブリを定量的に特徴づける前記ステップ (a) は、有限要素分析法を用いて前記ヘッドージンバルアセンブリを特徴づけるステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】 負荷がかけられていない状態にあるばね部の側面のプロファイルに沿った塑性の曲率の大きさを決定する前記ステップ (c) は、

(h) ステップ (b) において決定された最適なバンプおよびオフセットパラメータによる規定に応じて、負

荷がかけられている状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルを決定するステップと、

(i) ステップ (h) の決定から、負荷がかけられていない状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルの輪郭を決定し、ステップ (h) の決定から、ステップ (c) における塑性の曲率の大きさを決定するステップとをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】 回転データ記憶ディスクと近接するように負荷がかけられたときに、ディスクドライブのヘッドージンバルアセンブリ内でスウェイモードの共振周波数を最大にするように、形成されていない負荷ビームを形成するための方法であって、前記負荷ビームは、ヘッドアームに取付けられる接続部と、前記接続部から延びるばね部と、前記ばね部から延びる補強部と、前記補強部から延び、ヘッドスライダをジンバルで装着するためのスライダージンバル部とを含む、

(a) スウェイモード共振を決定するために、量子化法で前記ヘッドージンバルアセンブリを定量的に特徴づけるステップと、

(b) ステップ (a) で定量的に特徴づけられた前記負荷ビームの最適なバンプおよびオフセットパラメータを決定するステップと、

(c) ステップ (b) の決定から、負荷がかけられていない状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルにそった塑性の曲率の大きさを決定するステップと、

(d) ステップ (c) の塑性の曲率の決定から、前記ばね部の側面のプロファイルに沿った全曲率量を決定するステップと、

(e) ステップ (d) で決定された全曲率量に従って形成ダイのプロファイルを決定するステップと、

(f) ステップ (e) で決定されたプロファイルに従って形成ダイ手段の輪郭をつけるステップと、

(g) 前記ばね部を、ステップ (f) で形成された前記形成ダイの輪郭に従うようにすることにより、形成されていない負荷ビームを、形成された負荷ビームにするステップとを含む、方法。

【請求項 6】 前記接続部と前記スライダージンバル部とを加えることにより前記形成された負荷ビームを前記ヘッドージンバルアセンブリに組立て、前記組立てられたヘッドージンバルアセンブリを前記回転データ記憶ディスクと近接して動作するように取付けるステップをさらに含み、前記形成された負荷ビームは負のバンプおよび負のオフセットのうちの少なくとも 1 つを示し、前記回転データ記憶ディスクに隣接する動作位置において所望のグラム負荷を与える、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】 量子化法を用いてスウェイモード共振に関して前記ヘッドージンバルアセンブリを定量的に特徴づける前記ステップ (a) は、有限要素分析法を用いて前記ヘッドージンバルアセンブリを特徴づけるステップ

を含む、請求項5に記載の方法。

【請求項8】 負荷がかけられていない状態にある前記ばね部の側面のプロファイルに沿った前記塑性の曲率の大きさを決定するステップ(c)は、

(h) ステップ(b)において決定された最適なバンプおよびオフセットパラメータによる規定に応じて、負荷がかけられている状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルの輪郭を決定するステップと、

(i) ステップ(h)の決定から、負荷がかけられていない状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルの輪郭を決定し、ステップ(h)の決定から、ステップ(c)における塑性の曲率の大きさを決定するステップとをさらに含む、請求項5に記載の方法。

【請求項9】 回転データ記憶ディスクと近接して動作する場合にディスクドライブヘッドージンバルアセンブリ内で最小にされたねじれ利得を有する負荷ビームであって、前記負荷ビームは、ヘッドアームに取付けられる接続部と、前記接続部から延びるばね部と、前記ばね部から延びる補強部と、前記補強部から延び、ヘッドスライダをジンバルにより装着するためのスライダー

バル部とを含み、前記負荷ビームは、

(a) ねじれモード共振を決定するために、量子化法で前記ヘッドージンバルアセンブリを定量的に特徴づけるステップと、

(b) ステップ(a)で定量的に特徴づけられた前記負荷ビームの最適なバンプおよびオフセットパラメータを決定するステップと、

(c) ステップ(b)の決定から、負荷がかけられていない状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルにそった塑性の曲率の大きさを決定するステップと、

(d) ステップ(c)の塑性の曲率の決定から、前記ばね部の側面のプロファイルに沿った全曲率量を決定するステップと、

(e) ステップ(d)で決定された全曲率量に従って形成ダイのプロファイルを決

定するステップと、

(f) ステップ(e)で決定されたプロファイルに従って形成ダイ手段の輪郭をつけるステップと、

(g) 前記ばね部を、ステップ(f)において形成された前記形成ダイの輪郭に従うようにすることにより、形成されていない負荷ビームを、形成された負荷ビームにするステップとを含む方法によって形成される、負荷ビーム。

【請求項10】 回転データ記憶ディスクと近接するように負荷がかけられたときにディスクドライブのヘッドージンバルアセンブリ内でスウェイモードの共振周波数が最大になる負荷ビームであって、前記負荷ビームは、ヘッドアームに取付けられる接続部と、前記接続部から延びるばね部と、前記ばね部から延びる補強部と、前記補強部から延び、ヘッドスライダをジンバルにより装

着するためのスライダージンバル部とを含み、前記負荷ビームは、

(a) スウェイモード共振を決定するために、量子化法で前記ヘッドージンバルアセンブリを定量的に特徴づけるステップと、

(b) ステップ(a)で定量的に特徴づけられた前記負荷ビームの最適なバンプおよびオフセットパラメータを決定するステップと、

(c) ステップ(b)の決定から、負荷がかけられていない状態にある前記負荷ビームのばね部の側面のプロファイルにそった塑性の曲率の大きさを決定するステップと、

(d) ステップ(c)の塑性の曲率の決定から、前記ばね部の側面のプロファイルに沿った全曲率量を決定するステップと、

(e) ステップ(d)で決定された全曲率量に従って形成ダイのプロファイルを決

定するステップと、

(f) ステップ(e)で決定されたプロファイルに従って形成ダイ手段の輪郭をつけるステップと、

(g) 前記ばね部を、ステップ(f)において形成された前記形成ダイの輪郭に従うようにすることにより、形成されていない負荷ビームを、形成された負荷ビームにするステップとを含む方法によって形成される、負荷ビーム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】本発明は、ハードディスクドライブのためのヘッドージンバルアセンブリに関する。より特定的には、本発明は、最適化されたオフセットおよびバンプのパラメータを与えることによってヘッドージンバルアセンブリの負荷ビームの平面内での剛性を特徴づけかつ制御するための方法に関する。

【0002】

【発明の背景】図1に示されるように、従来的には、ハードディスクドライブ10は、適切な磁気コーティング(媒体)でコーティングされた2つの主表面を有する少なくとも1つの回転データ記憶ディスク11を含む。適切なスピンドルモータ13によって回転力が伝えられる共通の回転スピンドルにしばしば複数個のディスク11が取付けられるが、必ずしもそうであるわけではない。各データ記憶面には、データ記憶面にデータを書込んだり、以前にデータ記憶面に書込まれたデータを読取るために、いわゆる「ウィンチェスター(Winchester)」技術に従って、回転しているデータ記憶面に近接して「浮いている」関連するヘッドスライダ12が設けられる。各ヘッドスライダは、スライダをそれに関連するディスク面の方に付勢するようにスライダに負荷力(「グラム負荷(gram load)」と呼ばれる)を与えるためのばねとしての役割を果たす負荷ビーム16にジンバル14を介して接続される。各負荷ビームはスウェー

5

8を介してヘッドアーム21に接続され、スウェージプレート18は回転アクチュエータを形成するEブロック22の一部分である。各々のスライダ、ジンバル、負荷ビームおよびスウェージプレートは、「ヘッド-ジンバルアセンブリ」または「HGA」として既知のアセンブリを形成する。

【0003】音声コイル24は、電流を、たとえば強力な磁場を与える2つの永久磁石26によって与えられる磁場と組合せた回転力に変換する。読取/書込チャンネル28は、各スライダ上に形成されかつそれによって担持されるデータトランスデューサヘッドに接続する。読取/書込チャンネル28は、音声コイル24を通過する電流を制御するためのヘッド位置サーボループ32とスピンドルモータ13の動作を制御するためのスピンドルモータコントロール34とを含むディスクドライブエレクトロニクス30に接続される。データ経路36は、ディスクドライブ10が動作的に関連するホストコンピュータ（図示せず）に通じる。データブロックは典型的には各データ記憶面上に規定される同心のデータトラックに書込まれ、ヘッドポジションアクチュエータ22はヘッドスライダ12の垂直方向の積重なりを読取動作および書込動作のための各々の所望のトラック位置に動かす。

【0004】図2(A)～(C)に示されるように、図1のハードディスクドライブ10に用いられるようなHGAの各々は、4つの構成要素、すなわち、スライダ12、ジンバル14、負荷ビーム16、およびスウェージまたはベースプレート18を含む（たとえば、図2(A)～(C)参照）。図2(A)の例における負荷ビームはハッチンソン・テクノロジー（Hutchinson Technology）のタイプ8サスペンションであり、70%のスライダがジンバルで負荷ビームに装着され、それによって例示的なHGAを形成する。

【0005】最初の構成要素は、自動の流体力学的空気軸受を特徴とし、回転磁気データ記憶ディスクに情報を記録したりそこから情報を取出したりするために用いられる電磁トランスデューサ（以下、「読取/書込ヘッド」または「ヘッド」と称す）を担持する。ヘッドは薄膜誘導読取/書込ヘッドであってもよく、または薄膜誘導書込、磁気抵抗読取ヘッド構造であってもよい。メタル・イン・ギャップ（MiG）ヘッド等の他のヘッド設計も、浮動ヘッド（「ウィンチェスター」）磁気記録技術において広く用いられている。

【0006】ジンバル14は、負荷ビーム16に固定して取付けられ、適切な接着剤によってスライダ12に付着されるが、スライダ12がその上を浮動しているディスク11の形状を正確に追うことができるようにするようにスライダのピッチおよびロールの方向において弾性を有するように設計される。さらに、ジンバル14は、平面内での正確なスライダの位置決めを維持するために揺れおよび平面内の方向において剛性である。

6

【0007】負荷ビーム16は典型的には薄いステンレススチール合金シート材料からなり、これはジンバル14を取付けるためのベースとなる。負荷ビーム16はまた、典型的には負荷ビームにスポット溶接されるより厚いプレートのサンドイッチ構造となり得、従来のボールスウェーjingによってアクチュエータEブロック22の関連するヘッドアーム21（図4(A)および図4(B)参照）に取付けられる環状スウェーjingフランジ20を規定するスウェーjingまたはベースプレート18を規定する。負荷ビーム16はさらに、2つのセクション、すなわち弾性ばねセクション26と、たとえば長手方向のサイドフランジ44を有する比較的剛性のセクション42とを含む。

【0008】この例では、負荷ビーム16のばねセクション26は、2つの長手方向の脚部またはウェブ部26Aおよび26Bを含む。ばねセクション26は、スライダ12がそれに隣接するデータ記憶面の形状を追うことができるように垂直方向において弾性がある（図1および図3(A)～図3(B)参照）。ばねセクション26はまた、回転データ記憶ディスク11の表面での空気の圧力に反応してスライダによって引き起こされる流体力学的な引上げ力を打ち消す下方向の力を与える。この打ち消す力を生成するために、ばねセクション26はジンバル14およびスライダ12をディスク面の方に付勢するように予圧力を与えるように塑性的に湾曲した形に変形される。スライダの流体力学的な力を打ち消すこのばねによる予圧力は、当該技術分野において通常「グラム負荷」と呼ばれる。

【0009】フランジセクション42は従来、負荷ビームの本体から直接曲げられ、負荷ビーム16に付加的な曲げ剛性を与える2つの垂直方向のリップ部またはフランジ部44によって特徴づけられる。フランジ設計はたとえば図3(A)に示されるように上向き垂直方向のリップ部44Aを含むことが可能であり、または、フランジセクション設計は図3(B)に示されるように下向き垂直方向のリップ部44Bを用いることが可能である（この構成は通常、逆フランジ負荷ビーム設計として既知である）。1つの例示的な逆フランジ負荷ビーム設計は、ハッチ（Hatch）他による「高さが低い低出力の固定されたヘッドおよびディスクアセンブリのためのデータヘッド負荷ビーム（Data Head Load Beam for Height Compacted, Low Power Fixed Head and Disk Assembly）」と題された同一出願人に譲受された米国特許番号第5,027,241号に開示されかつ特徴づけられており、この開示を引用によりここに援用する。

【0010】4番目の構成要素は、負荷ビーム16をアクチュエータEブロック22の支持アーム21に取付けるベースプレートまたはスウェーjingプレート18である。ベースプレート18も典型的にはステンレススチール合金からなり、構造の強度の理由のために必要な剛性

を与え、かつ、しばしば、たとえば図4 (A) および図4 (C) に示されるようにスウェーピングを促進するスウェーピングフランジまたはボス20等をアクチュエータEブロックのヘッドアーム21に固定するための他の特徴を適用するように、負荷ビームよりも厚くなるように形成される。

【0011】理想的なヘッドサスペンション設計は、スライダが、関係する周波数範囲内での支持アームの動きを忠実にかつ正確に追う設計である。すなわち、アクチュエータ音声コイルにより発生されたEブロックの支持アームの動きは、増幅、低減、遅延もしくは先行、または他の歪みを生じずに負荷ビームおよびジンバルを介してスライダに伝えられなければならない。これらの条件が得られれば、ヘッドトラッキングを予測可能にかつ効率的に行なうことができ、それによってトラック密度を高めることができ、アクセス時間が低減される。しかしながら、質量および剛性を有するいかなる機械的システムも入力された動きがかなり増幅される共振周波数を有するため、このようなことを達成することは困難である。図6は、上向きのフランジを有する先行技術のサスペンション設計（この例では、ハッチンソン・テクノロジー・インコーポレイテッド (Hutchinson Technology, Incorporated) 製造のタイプ8サスペンションであり、ここでは「タイプ8HGA」と称す）の周波数での支持アームからスライダにわたる増幅の変化を示している。タイプ8HGAに関して図6に示されるように、サスペンションサポートの動きは、3つの別々の共振周波数、すなわち、第1のねじれモード共振（約2200Hz）、スウェイモード共振（約6000Hz）および第2のねじれモード共振（約8500Hz）でかなり増幅される。

【0012】図7 (A) ～図7 (C) は、タイプ8HGAの従来の有限要素分析モデルを示している。サスペンションのこのモデルでは、3つの種類の動的モード、すなわち、曲げモード（図7 (A) ）、ねじれモード（図7 (B) ）、およびスウェイモード（図7 (C) ）が示されている。曲げモードは、励起されると、スライダを磁気ディスクに関して上方向および下方向に動かし、少しでも識別できる効果があればデータヘッドがデータトラックを追う能力に対する2次的な影響に僅かに寄与する。

【0013】しかしながら、ねじれモードおよびスウェイモードは、支持アームによって励起されると、スライダをデータトラックに関して真横方向に動かし、ヘッドとトラックとの一致性が妨げられ、これが十分に大きくなれば、サーボシステムの安定性の問題が生じる。これまでハードディスクドライブ産業においてこれらの共振周波数における不所望な増幅を低減する努力が主になされてきたが、これまでこの努力は完全には成功しておらず、かなりの実験と「試行錯誤」の技術とに終わってい

る。

【0014】補強されたセクションに負荷ビームフランジがあるため、負荷ビームの剪断力の中心がしばしば負荷ビームの長さ方向に沿う重力の中心から外れる。これにより、負荷ビームが実際には平坦であっても、純粋な平面内での支持アームの動きによりHGAをねじれるように動かすことができる。この結合により2つの不所望な影響が生じる。第1には、平面内での支持アームの動きによりHGAシステムのねじれ共振を励起し得ることである。これにより、ハードディスク産業でしばしば起こっているように、増幅が大きすぎればヘッドトラッキングシステムが不安定になってしまう。第2には、ねじれの剛性と平面内での剛性とを結合することにより、スウェイモードの共振周波数が減少されることである。スウェイモードの振幅と周波数とを制御しなければ、サーボシステムの安定性の問題が生じる。

【0015】これまで、HGAは、形成ダイの輪郭に従うようにばね領域を曲げることによってそのばね領域を形成することにより所望のプリロード特性を有するように形成されていた。先行技術の形成ダイはたとえば円形の輪郭に従っていたが、HGAが隣接するデータ記憶ディスク面に関して負荷がかけられた（浮動している）位置にあるときにしばしば負荷ビームが正のバンプおよびオフセットを示していた。先行技術のHGAの平面内での剛性の特性を向上させる試みが繰返し実験的に行なわれてきたが、それらの試みは「試行錯誤的な」ものであって、平面内での剛性に影響を与えるファクタおよびパラメータを理解するための科学的な分析はほとんど得られなかった。

【0016】ディスクドライブ負荷ビームの技術分野における従来の研究により、負荷ビームのばねセクション26が完全に平坦であり、そのため最も大きい平面内での剛性および硬さを示すことが期待されるときに、負荷をかけられた状態（すなわち、ディスクの回転速度が上昇しかつスライダがディスクの上で浮動している状態）にあるHGAの理想的な動作が実現されると提案されている。この従来の研究の一例は、ハーゲン (Hagen) による「ヘッド・ジンバルアセンブリにおける付加的な曲げを有する負荷ビーム (Load Beam Having An Additional Bend In A Head-Gimbal Assembly)」と題された米国特許番号第5,065,268号に示されており、この開示を引用によりここに援用する。この従来のアプローチは、負荷をかけられていない状態にある負荷ビームのばねセクションに沿って規定される複数の横方向の塑性ベンドを特徴としていた。負荷ビームが負荷をかけられた状態になるように変形されると、平面内での剛性を促進するために適度に平坦な負荷ビームを達成すると言われている。その負荷ビームのばねセクションの長手方向の断面を完全にすると、ほぼ「バンプのない」輪郭となる。この従来のアプローチの欠点は、形成中に鋭い横

方向のベンドまたは折り目が必要となり、これによりマンドレルの設計および製造手順が複雑となり、結果として得られる設計が真に最大の平面内での剛性の所望の目標をほぼ達成しているだけであるということである。

【0017】したがって、負荷を与えられた状態での平面内での剛性を最大にするように最適化されたオフセットおよび最適化されたバンプを有するヘッドジンバルアセンブリにおける負荷ビームと、負荷をかけられた状態での平面内での剛性を最大にするように、結果として得られる負荷ビームを作るためおよびテストするための方法とが必要とされている。

【0018】

【発明の概要】本発明の一般的な目的は、負荷ビームの支持アームと読取／書込ヘッドとのねじれの結合をなくす負荷ビーム構造を提供し、ヘッドスライダサスペンションアセンブリのスウェイモードの共振周波数を最大にし、先行技術の制限および欠点を克服するようにこれらの2つのことを一方ずつまたは同時に達成し、それによって回転データ記憶ディスク上のデータトラックに関する読取／書込ヘッド構造のトラッキングの安定性を向上することである。

【0019】本発明の別の一般的な目的は、先行技術の制限および欠点を克服するように、スライダをHGAのその残りのねじれの動きから力学的に切り離すか、またはスウェイモードの共振周波数を最大にするか、またはその両方を行なうことができる最適化されたバンプおよび最適化されたオフセットを確立することによって、HGAのねじれモードおよびスウェイモードの力学的な問題点を科学的に正確に解決するための方法を提供することである。

【0020】本発明の別の目的は、負荷ビームの負荷をかけられた状態での平面内での剛性を最大にし、それによって先行技術の制限および欠点を克服するために、制御されたバンプおよびオフセットの輪郭を有するように形成されるばねセクションを有する負荷ビームをつくるための方法を提供することである。

【0021】本発明のさらに他の目的は、スライダを回転データ記憶面の近くで浮動している位置になるように負荷をかけた後HGAが選択された共振周波数で最大限の安定性を達成しているかどうかを確かめるためにHGAの平面内での剛性を特徴づけるための方法を提供することである。

【0022】本発明のさらに他の目的は、アクチュエータの動きを歪ませずにヘッドスライダに伝えるために負荷ビームの平面内での剛性が増加するため、トラック密度がより高くアクセス時間がより短い改良されたディスクドライブを実現することである。

【0023】本発明のさらに他の目的は、ハードディスクドライブ内で動作する場合に平面内での剛性がより大きいHGAを繰返し製造できるプロセスを提供し、それ

によってディスクドライブの性能を向上させかつより高い製造時の歩留りを有することにより全体的なディスクドライブのコストを低減することである。

【0024】本発明のさらに他の目的は、所望のHGA共振周波数での平面内での剛性を最大にするために、負荷をかけられた状態において所望のバンプおよびオフセットの特性を有する負荷ビームを提供することである。

【0025】本発明のさらに他の目的は、負荷をかけられた状態において所望のバンプおよびオフセットの特性を生じるように既知のHGA設計を特徴づけ、その後製造プロセスにおいてHGAに所望のバンプおよびオフセットの特性を繰返し形成できる形成ダイのための形成輪郭を決定することである。

【0026】本発明は、負荷をかけられた状態においてHGAの負荷ビームのばねセクションに沿った最適化されたバンプおよびオフセットを特徴とし、所望のバンプおよびオフセットをつくるための製造方法、および最適化されたバンプおよびオフセットのパラメータが達成されたことを確かめるための特徴づけの方法を提供する。バンプおよびオフセットは、負荷ビームの質量および剛性の分布を真に平坦な状態から再分布できる。

【0027】バンプおよびオフセットの大きさおよび方向が負荷ビーム構造に正しく組込まれば、以下の2つの効果の1つまたは両方が得られる。第1に、第1のねじれモードのモード形状が、サスペンション支持アームとスライダとの結合が実質的になくなるように変えられる。その結果、スライダの横方向の動きは、共振であってもいかなる負荷ビームの第1のねじれ振動から独立したままである。第2に、負荷ビームのねじれ剛性は、平面内での剛性から完全に切り離される。この新規な構造上の構成および製造の方法により、真に最大の平面内での剛性、したがってスウェイモードの最大共振周波数が達成できるようになる。

【0028】本発明の一局面では、本発明は、データ記憶ディスクと近接するように負荷をかけられたときにディスクドライブHGA内のねじれ利得が実質的に0となるかまたはスウェイモードの共振周波数が最大になるように、形成されていない負荷ビームを形成するための方法を提供し、負荷ビームは、ヘッドアームに取付けられる接続部（スウェッジプレート部）と、接続部から延びるばね部と、ばね部から延びる補強部と、補強部から延び、ヘッドスライダをジンバルで装着するためのスライダジンバル部（スライダの窪みを含む）とを含む。この環境において、この方法は、(a) たとえばそのねじれモードの共振およびスウェイモードの共振を決定するために、有限要素分析等の適切な何らかの分析ツールを備えるヘッドジンバルアセンブリを特徴づけるステップと、(b) ステップ(a)で特徴づけられた負荷ビームに関する最適なバンプおよびオフセットのパラメータを決定するステップと、(c) ステップ(b)の決

定から、負荷をかけられていない状態におけるばね部の側面のプロファイルに沿った塑性曲率の大きさを決定するステップと、(d) ステップ(c)の塑性曲率の決定から、ばね部の側面の形状に沿った全曲率量を決定するステップと、(e) ステップ(d)において決定された全曲率量に従って形成ダイのプロファイルを決

定するステップと、(f) ステップ(e)において決定されたプロファイルに従って形成ダイ手段の輪郭をつけるステップと、(g) ばね部をステップ(f)において形成された形成ダイの輪郭に一致するようにさせることにより、負荷をかけられた状態において所望のバンプおよびオフセットのパラメータを与える輪郭を有するよう

に、形成されていない負荷ビームを形成するステップとを含む。

【0029】本発明のこれらのおよび他の目的、利点、局面および特徴は、添付の図面とともに以下に示す好ましい実施例の詳細な説明を考慮すればよりよく理解され認識されるであろう。

【0030】

【好ましい実施例の詳細な説明】本発明は、ねじれモードおよびスウェイモードに伴う力学に関するものである。本発明は、HGAのばね部のバンプおよびオフセットのパラメータの調整および制御により、スライダをHGAのその残りのねじりの動きから力学的に切り離すか、またはスウェイモードの共振周波数を最大にするか、またはその両方を行なうことができることが発見される。本発明はさらに、バンプおよびオフセットのパラメータの最適化を達成するため、およびHGAのねじりおよび/またはスウェイ共振の特性が決定されると、形成ダイを形成しかつその上に負荷ビームばねセクションを形成するための系統的な方法を提供する。

【0031】本発明のニュアンスおよび本発明の先行技術に対する寄与を理解しかつ認識するために、幾つかの規定を示す。図4(A)では、ヘッドアーム21を含む回転アクチュエータ構造22の回転面が、水平方向の点線xで示されている。この回転面は、スライダ12と負荷窪み46との交差部を貫通しているように見える。この面(軸xに沿う)は、図4(C)の拡大図に二点鎖線で示されるように鋭角の直角三角形のベース脚部を確立するために用いられる。図4(C)に示される直角三角形は、「オフセット」パラメータの大きさを示す参照番号50で示される高さの辺または寸法を含む。この例では、高さ50は基軸xから、および隣接するデータ記憶面からの、ばね領域26と補強領域42との接合部(参照番号52で示される)の負荷ビームの距離を示すため、この高さ50により、「正のオフセット」の大きさが確立される。ばね領域と補強領域との接合部52が軸xの下に配置され、したがって負荷ビーム16が基軸xよりも隣接するデータ記憶面に対して近接していれば、オフセットの大きさは「負のオフセット」になるであ

う。

【0032】さらに、図4(C)の拡大図に示されるように、この例におけるばね領域26は、ばね領域と補強領域との接合部52からばね領域とスウェージプレートとの接合部(参照番号54によって示される)に延びる弧として規定される。接合部52と接合部54との間には弦が示されている。この弦は実際に、底辺がx軸および高さ50である直角三角形の斜辺である。この弦は接合部54から接合部52に延び、弦の両端から等距離の位置で、弧に対して垂線が引かれている。参照番号56によって示されるこの線は、「バンプ」パラメータの大きさを示す。この例では、線56はx軸(および隣接するディスク面)から離れて延び、そのため、バンプは正の大きさを有し、したがって「正のバンプ」となる。正のオフセットであると仮定して線56がx軸の方に延びるか、または負のオフセットであると仮定して線56がディスク面の方に延びる場合、バンプは「負のバンプ」となるであろう。図15のような等高線プロットに示されるように、タイプ8の負荷ビームおよび70%のスライダを用いる先行技術のHGA(斜線領域に示される)は、正または負のオフセットの大きさを示し得るが、通常正のバンプの大きさを有することを特徴とする。本発明の原理に従えば、最適な性能を達成するためには、70%のスライダを有するタイプ8サスペンションは、-0.05mmのオフセットおよび0mmのバンプを有していなければならない。目標値を囲む中央の等高線によって囲まれる図15のプロットの領域により示されるように、オフセットが0でありかつバンプが-0.05であっても十分に動作し、オフセットが-0.075でありかつバンプが+0.05であっても十分に動作する。

【0033】図5(A)では、負荷ビーム16のばねセクション26は、正のバンプ56および正のオフセット50を与えるように形成されている。この構成は先行技術のアプローチのうちの最も特徴的なものの1つであり、これにより得られるHGAの性能はしばしば最適なもののよりも低いものである。一方、図5(B)では、ばねセクション26は負のバンプ56および負のオフセット50を与えるように形成されており、本発明の重要な局面に従っている。

【0034】ねじれモードとは、本質的に、回転的な動きである。本発明の主な動作原理は、図8に示されるように、ねじれモードの回転軸xがジンバル14の負荷窪み46と負荷ビーム16との接触点を正確に貫通するようにばねセクション26のバンプおよびオフセットの輪郭を形づくることである。

【0035】回転軸xがそのように配置される場合、スライダ12は、ジンバル14と負荷ビーム16を含むHGAの残りが第1のねじれモードの共振周波数で激しく共振されてもほとんど動かないままである。代替的に、負荷ビーム16のねじれ剛性がその平面内での剛性

から切り離されるようにバンプおよびオフセットの輪郭を形成することもできる。このようにして、スウェイモード共振の共振周波数を非常に高くすることができる。

【0036】本発明の原理に従えば、図9は、バンプを一定にしてオフセットを変えることにより、ヘッドアーム21によって伝えられる励起の動きのタイプ8HGA内での増幅に与えられる影響をスライダ12の位置で測定したものを示している。第1のねじれモードの共振周波数(約2.2kHz)での増幅は実質的に負のオフセット(-0.20mm)および正のオフセット(+0.20mm)に関して有意であると思われ、僅かに負のオフセット、たとえば-0.03mmでは驚異的に最小値に達している。図10は、僅かに負のオフセットパラメータ-0.03mmに対応する増幅曲線を示している。図10の曲線ではタイプ8HGAのスライダ12のねじれの動きは完全になくなっており、高周波数スウェイモード増幅成分しか残っていない。図11は、ねじれ増幅の振幅とオフセットの変動との間の関係に関して励起周波数2.5kHzでの理論的な予測と測定されたテストデータとが非常によく一致していることを示している。

【0037】図12は、オフセットパラメータを一定に保持しバンプパラメータを変化させた場合のヘッドアームの動きの増幅に対する影響をスライダ位置で測定したものを示している。第1のねじれモードの共振周波数(約2.2kHz)での増幅は実質的に負のバンプ(-0.20mm)および正のバンプ(+0.20mm)に関して有意であると思われ、僅かに負のバンプ、たとえば-0.06mmで驚異的に最小値に達している。図13は、バンプが0.06mmである場合の増幅曲線を示している。図13の曲線においてはタイプ8HGAのスライダ12のねじれの動きは完全になくなっており、支配的な共振増幅として高周波数スウェイモードのみが残っている。図14は、励起周波数2.5kHzにおけるねじれ増幅の振幅とバンプの変動との間の関係が理論的な予測と測定されたテストデータとが非常によく一致していることを示している。

【0038】図15は、タイプ8HGAに関して、第1のねじれモードの周波数での増幅対プラスおよびマイナスのバンプとプラスおよびマイナスのオフセットを同時に示すマトリックスプロットである。オフセットが-0.05mmでありかつバンプが0.00mmの場合、バンプとオフセットとが互いに補強し合うことにより、この位置で最も安定し、かつバンプおよびオフセットに関する製造上の公差に最も強い設計が得られる。プロットの影がつけられた領域は、クワンタム(Quantum)によって出荷されたタイプ8サスペンションのバンプおよびオフセットの分布を示している。バンプおよびオフセットを、オフセット=-0.05mmおよびバンプ=0.00mmを中心とする目標の領域に移動させることができれば、ねじれ増幅を大幅に減少させることができ

る。

【0039】さらに、図9および図12の一群の曲線は、HGAのスウェイモードの共振周波数がバンプおよびオフセットパラメータの変化に応じてかなり変化することを示している。図16および図17は、タイプ8HGAにおけるバンプおよびオフセットに関するこの影響を最もよく示すものをそれぞれ示している。スウェイモードの共振周波数は、図16ではバンプが+0.04mmのとき、図17ではオフセットが+0.06mmのときに最大値に達している。この影響は、負荷ビーム16の平面内での剛性およびねじれの剛性が互いに完全に切り離されるように、この特定のバンプおよびオフセットの組合せからHGA負荷ビーム16の質量および剛性を再分配することにより得られる。スウェイモードは主に本質的に平面内での動きである。ねじれの剛性が平面内での剛性よりも小さいため、ねじれの剛性は平面内での剛性と結合されるとスウェイモードの共振周波数を低減させやすい。そのため、ねじれの剛性が完全に切り離されたときにスウェイモードの共振周波数がその最大値に達する。

【0040】スウェイモードの共振周波数をより高くすることにより、ヘッドトラッキングサーボ制御システム32はより安定する。このことは、HGA負荷ビームのバンプおよびオフセットパラメータを制御することにより得られる第2の利点である。しかしながら、タイプ8HGAに関して、スライダのねじれの結合をなくすことと、スウェイモードの共振周波数を最大にすることとは同時に達成することができない。したがって、HGA設計者は、サーボ制御システムの要件に従ってどちらの影響を最適化させるかを決定するか、または2つの影響が互いに譲歩して最適化されるようにバンプおよびオフセットを調節しなければならない。Z高度を変化させることによって、第1のねじれモードでの増幅に影響を与えることができるが、図18に示されるようにその程度はより低いものである。「Z高度」とは、スウェイプレート18に隣接する位置54の負荷ビームの頂部(たとえば図4(C)参照)からスライダ12が回転ディスク面上に置かれた場合のスライダ12の底面を含む面までを測定した高さを意味する。図18のグラフに示されるように、タイプ8HGAに関して、たとえば2.5kHzでの励起エネルギーの増幅は、公称上の基準値0.8636mmからのZ高度が増加すると増加し、Z高度が減少すると減少する。図18はまた、バンプおよびオフセットパラメータが所与のZ高度パラメータに対して最適化されなければならないことを示している。

【0041】図7(A)~図7(C)に示される有限要素分析方法によってHGAの特性を十分に示し、第1のねじれ共振等の特定の共振に関して最適なオフセットおよびバンプパラメータを決定すると、以下に記載する方法を用いてこれらの最適なオフセットおよびバンプパラ

メータを有する所望の負荷ビームのばねセクションの輪郭を形成することができる。

【0042】製造方法

所望のグラム負荷をつくり出すための1つの方法は、図19(A)～図19(C)に示されるダイ100等の形成ダイに対して最初は平坦な負荷ビーム18を塑性的に変形することである。図19(A)に示されるような最初は平坦な負荷ビーム16は、図19(A)に示されるようにたとえばスポット溶接によりスウェージプレートに固定されるべきまだ形成されていない負荷ビームの一部分がダイ100の左側の上に被さるように、位置54でダイ100の形成輪郭101に関して適切な位置に固定される。まだ形成されていない負荷ビームに予め定められた形成力を与えかつその負荷ビームをダイ100の輪郭101に一致させ得る形成ローラ102に負荷ばね104および適切なメカニズム(図示せず)が設けられ、このメカニズムにより形成ローラ102が負荷ビームのばね領域26の上を前進して、負荷ビーム16の位置54から始まり、補強セクション42に隣接する負荷ビームの位置52にわたり(図19(B)参照)、さらに最初の位置に戻る(図19(C)参照)。図19

(A)～図19(C)に示される形成動作の結果、ばねセクション26は形成輪郭に一致するように塑性的に変形され、その後図19(C)に示されるように跳ね返って、形成された輪郭(平坦でない)に戻る。この形成された輪郭により所望のグラム負荷が得られ、これはまた、負荷ビームがそれと一体の部分であるHGAが回転するディスクに関して動作位置になるように負荷がかけられた後、負荷ビームに対して最適化されたバンプおよびオフセットパラメータを示す。

【0043】代替的には、たとえば図20(A)～図20(C)に示されるように、最初は平坦な負荷ビーム16を、圧力を与えるダイの構成に対して適切な位置に固定してもよい。この例では、ダイ100および形成輪郭101は、本発明の方法に従って最適化される。たとえばゴム等の適切な弾性層108を有し得る相補的な上部形成ダイ106は、ダイ100と一致している。図20(A)において矢印およびFORCEによって示されるように下方の駆動力が上部形成ダイ106に与えられる。最初は平坦な負荷ビーム16のばねセクションは、上部形成ダイ106および弾性層108に与えられかつそれを介して伝えられる圧力によって形成ダイ100の形成輪郭101と一致するように圧力がかけられる。この方法により、図20(C)に示されるように、負荷ビーム16がHGAの一部として動作状態になるように負荷がかけられるとき、所望のグラム負荷を与えかつ最適化されたバンプおよびオフセットパラメータを示すよ

うに、ばねセクションが永久に変形される。

【0044】正確な形成方法に関係なく、形成後、負荷ビームばねセクション26は変形され、負荷ビーム16は、形成プロセスの間にばねセクションに沿って塑性の曲率が作られるため、はね返って平坦な状態に戻ることはない。このとき、グラム負荷は負荷ビーム16を負荷がかけられた状態(または動作状態)まで曲げるように窪み位置46において与えられる力である。形成ダイのプロファイルにより、形成プロセスの間に負荷ビームに与えられる塑性の曲率の大きさ、したがって負荷がかけられた状態において与えられるグラム負荷が決定される。本発明のこの開示の第2の部分は、所望のバンプおよびオフセットの特性を有しかつそれと同時にスライダ12に必要なグラム負荷を与える負荷ビーム16をつくり出すために、形成ダイの形状および輪郭を決定するための系統的な計算方法を教示している。

【0045】この計算の手順は以下のステップにまとめられる。

[ステップ1] 所与の負荷ビームの仕様と、材料の厚さ、寸法、ならびに負荷をかけられた状態にある負荷ビーム16のいかなる所望のバンプ、オフセットおよびグラム負荷の要求を含むパラメータとから、負荷をかけられていない状態にある負荷ビーム16のばねセクション26に沿って必要な塑性の曲率を逆方向に計算する。

【0046】[ステップ2] ステップ1によって得られる塑性の曲率をつくり出すのに必要な、負荷ビーム16のばねセクション26の長さに沿った全曲率を計算する。

【0047】[ステップ3] ステップ2で得られた全曲率に従って形成ダイのプロファイルを計算する。

【0048】上述の計算手順の数学的な設定は以下のようにまとめられる。

[ステップ1] 負荷をかけられた状態にある負荷ビームの形状 y_1 は、形成プロセスにおいてつくり出された負荷ビーム16のばねセクション26に沿った塑性の曲率 $k_p(x)$ によって一意に決定される。 y_1 および $k_p(x)$ は、たとえば以下に示す2つの方法のうちのいずれか1つによって関連づけることができる。

【0049】第1の方法は線形のアプローチである。負荷ビームをビームとみなし、歪み抑制の理論を適用すると、 y_1 と $k_p(x)$ との関係は以下に示す式(1)によって表わすことができ、このとき、負荷ビームのばねセクション26の位置54および52における境界条件はそれぞれ以下の(2)に示される。

【0050】

【数1】

$$\frac{d^2 y_l}{dx^2} = -\frac{d}{dx} k_p(x) \quad \dots(1)$$

$$y_l(0) = y'_l(0) = 0 \text{ および } y_l(l_s + l_f) = y'_l(l_s + l_f) = 0 \quad \dots(2)$$

【0051】ここで、 l_s および l_f はそれぞれ負荷ビームのばねセクションの長さおよびフランジセクションの長さである（図21参照）。式（1）は、負荷をかけられた状態にあるときの形状が、ばねの長さに沿った塑性の曲率の勾配によって左右されることを示している。10

*および（4）として表わすことができ、負荷をかけられた状態にある場合にスライダに必要なグラム負荷は以下に示す（5）で表わすことができる。

【0052】

【数2】

$$\text{offset} = y_l(l_s), \quad \dots(3)$$

$$\text{bump} = y_l\left(\frac{1}{2}l_s\right) - \frac{1}{2}y_l(l_s) \quad \dots(4)$$

$$\text{gram_load} = EL \frac{d^4 y_l}{dx^4} (l_s + l_f) \quad \dots(5)$$

【0053】ここで、 EI はばねセクションの曲げ剛性である。これにより、境界条件（2）と、バンプ、オフセットおよびグラム負荷の要求（3）、（4）、（5）20 の場合の式（1）から塑性の曲率 $k_p(x)$ を解くことができる。

※ばねセクション26に沿った塑性の曲率を考慮すると、以下に示す式（6）を以下に示す最初の条件（7）で積分することにより、負荷をかけられていない状態にある負荷ビームの形状 y_u を決定することができる。

【0055】

【数3】

$$\frac{y_u'''}{(1+y_u'^2)^{3/2}} = k_p(x) \quad \dots(6)$$

$$y_u(0) = y'_u(0) = 0 \quad \dots(7)$$

【0056】その後、窪みに垂直方向の力を集中して与えて窪みを動作する高さまで変位させることにより、負荷ビームが負荷をかけられた状態まで変形される。この負荷プロセスにおいて負荷ビームによって与えられた変位量は、負荷ビームの厚さの10～100倍となり得る。この種類の問題は非線形力学の範疇に入るものであり、非線形の解法機構が必要である。すなわち、反復的な解法機構が必要である。この解法プロセスは、ティモシェンコ（Timoshenko）およびギア（Gere）による『材料力学（“Mechanics of Materials”）』等の固体力学の出版物においてみることができる。方法1はこの負荷プロセスの線形の概算であり、Z高度が小さい場合の応用に関しては正確である。方法1に関しては、バンプおよびオフセットを、負荷をかけられた状態にある場合の形状に従って式（3）、（4）として表わすことができる。グラム負荷は、窪みの位置に与えられる垂直方向の★

★負荷力であり、非線形の解法のプロセスにより決定することができる。

【0057】解法プロセスは非線形であるが、いかなる所与の塑性の曲率に関しても負荷をかけられた状態の場合のグラム負荷、バンプおよびオフセットは一意的に決定される。ばねセクションに沿った塑性の曲率の分布は、グラム負荷の要求と、（3）および（4）とが満たされるように選択され得る。

【0058】[ステップ2] 塑性の曲率 $k_p(x)$ をつくり出すために必要な全曲率 $k(x)$ は、ばねセクションの寸法および材料の力学的な特性から計算される。完全な塑性の降伏特性を有するばねセクションのようなビームに関しては、以下に示す非線形の関係により $k(x)$ と $k_p(x)$ とを関連づけることができる。

【0059】

【数4】

$$k_p = k + \frac{b\sigma_y^3}{3IE^3} k^{-2} - \frac{bh^3\sigma_y}{EI} \quad \dots(8)$$

【0060】ここで、 σ_y は降伏応力であり、 b はばねセクションの幅であり、 h は負荷ビームの厚さの半分であり、 $I = 2bh^3/3$ であり、 E は負荷ビーム材料のヤング率（Young's Modules）である。図22は、 $\sigma_y = 200 \text{ ksi}$ である場合のタイプ8HGAに関する

（8）をグラフで表わしたものである。

【0061】[ステップ3] 形成ダイのプロファイル y_m は、以下に示す式（9）を最初の条件（10）で積分することにより計算できる。

【0062】

【数5】

$$\frac{y_m'}{(1+y_m'^2)^{3/2}} = k(x) \quad \dots(9)$$

$$y_m(0) = y_m'(0) = 0 \quad \dots(10)$$

【0063】図23は、タイプ8HGAに関してオフセット=バンブ=-0.03mmである場合の、負荷をかけられた状態にあるとき、負荷をかけられていない状態にあるとき、および形成ダイ上にある状態のときの負荷ビーム16のばねセクション26の形状を別々に示している。図24は、ばねセクションの長さに沿った必要な塑性の曲率の大きさを示している。

【0064】形成ダイのプロファイルの最適化

理論的には、(2)、(3)、(4)、(5)を満たす式(1)に対する解は無限にある。すなわち、特定の負*

$$k_p(x) = k_1 f_1(x) + k_2 f_2(x) + \dots + k_n f_n(x) \quad \dots(11)$$

【0067】ここで、 $f_i(x)$ は負荷ビームのばねセクションに沿って規定される塑性の曲率の形状の関数であり、 k_i はそれぞれの形状の関数の係数であり、以下パラメータと呼ぶ。形成ダイのプロファイルを最適化するという事は、最小二乗法で、または制限的な式(1)、(2)、(3)、(4)、(5)に基づく何らかの最適化の基準に従ってそれらのパラメータを解くことである。

【0068】以下に、最適化の基準の幾つかの例を示す。

1. 材料の降伏応力の変動に最も敏感でないオフセットおよびバンブに最適化する。

【0069】2. 負荷ビームの厚さ等のあるサスペンシ※

$$k_p(x) = \sum_{i=1}^n k_i \sin(x/l_i) + k_{i+1} \cos(x/l_i) \quad \dots(i)$$

$$k_p(x) = \sum_{i=1}^n k_i f_i(x) \quad \dots(ii)$$

【0073】ここで、長さが短い場合には $f_i(x) = 1$ であり、その他の場合は $f_i(x) = 0$ である。形状の関数および形状関数の数は、最良の結果を得るための選択された最適化の基準に従って慣習的に規定することができる。

【0074】以上本発明の実施例を説明したが、本発明の目的が十分に達成されたことが認識され、本発明の精神および範囲から外れることなく本発明の構造に多くの変更を加えたり本発明において広く異なる実施例および応用を提案することが可能であることが当業者によって理解されるであろう。ここに記載する開示および説明は例示的なものであって本発明を限定するものではない。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の特徴を含み、かつ本発明の原理に従った

*荷ビーム設計のオフセット、バンブおよびグラム負荷の要求を満たすことができる形成ダイのプロファイル101は無限にある。このように一意的でないという特性は、可能なオプションの中で最良の形成ダイのプロファイルを自由に選択できるため、好ましい。すなわち、形成ダイのプロファイル101の最適化が可能となる。

【0065】塑性の曲率 $k_p(x)$ のパラメータは以下のように決定することができる。

【0066】

【数6】

※ヨンの寸法に最も敏感でないオフセットおよびバンブに最適化する。

【0070】3. 最も機械加工に適している、すなわち所与の機械加工技術またはプロセスで最も容易に実現できる形成ダイのプロファイル101に最適化する。

【0071】形状の関数は、ばねセクションの全長に沿って、以下の(i)に示すフーリエ級数(Fourier Series)タイプを用いて大域的に規定するか、または以下の(ii)のような有限要素タイプを用いて局所的に規定することができる。

【0072】

【数7】

HGAを有するハードディスクドライブの機能ブロック図である。

【図2】本発明に従った、最適な平面内での剛性を特徴づけるための、70%のスライダを有する従来のタイプ8ヘッドサスペンション(以下「タイプ8HGA」と称す)の図であり、(A)はヘッドージンバルアセンブリの頂面図であり、(B)は負荷をかけられた状態にあるヘッドージンバルアセンブリの側面図であり、(C)は負荷をかけられていない状態にあるヘッドージンバルアセンブリの側面図である。

【図3】(A)は上向きの側部補強フランジを有する従来のHGAを示す図であり、(B)は下向きの側部補強フランジを有する従来のHGAを示す図である。

【図4】(A)は、本発明の原理に従った特徴づけおよ

21

び形成のための例示的なHGAの概略側面図であり、

(B)は、(A)に示されるHGAのジナルの負荷窪みの部分の拡大図であり、(C)は、(A)に示されるHGAの負荷ビームのばね領域を拡大して示し、HGAの性能を特徴づけるために用いられるバンプおよびオフセットパラメータを示す図である。

【図5】(A)は、先行技術において最もよく見られるような正のバンプを有するという特徴を持つHGAの概略拡大側面図であり、(B)は、本発明の原理に従った負のバンプおよびオフセットを有するという特徴を持つHGAの概略拡大側面図である。

【図6】いかなるダンパ構造も含まないタイプ8HGAに関する典型的な増幅曲線対周波数のグラフを示す図である。

【図7】(A)は、本発明に従ったタイプ8HGAの第1の曲げモード共振の有限要素モデルの拡大図であり、(B)は、本発明の原理に従ったタイプ8HGAの第1のねじれモード共振の有限要素モデルの拡大図であり、(C)は、本発明の原理に従ったタイプ8HGAの第1のスウェイモード共振の有限要素モデルの拡大図である。

【図8】(A)は、負荷ビームと窪みとの接触点を通過するときの回転トルク軸の通過を示す前面図であり、

(B)は、負荷ビームと窪みとの接触点を通過するときの回転トルク軸の通過を示す側面図である。

【図9】タイプ8サスペンションに関してバンプを0に保持しかつオフセットを -0.20mm から $+0.20\text{mm}$ まで9段階で変化させた場合の典型的な増幅曲線の一群のグラフであり、オフセットが -0.03mm に向かって調節されるときに第1のねじれモード共振の振幅が低減することを示す図である。

【図10】本発明の原理に従った、図9の一連のグラフから抜粋したオフセットが -0.03mm の場合の増幅曲線のグラフであり、僅かに負のオフセットを与えることによって第1のねじれ共振モードの振幅が効果的になくなったことを示す図である。

【図11】本発明の原理に従った、タイプ8サスペンションに関して 2.5kHz の場合にオフセットの大きさをプラスからマイナスにわたって変化させて収集した実際のテストデータと理論的な計算とがほぼ一致していることを示すグラフを示す図である。

【図12】タイプ8HGAに関してオフセットを0に保持しかつバンプを -0.20mm から $+0.20\text{mm}$ まで9段階で変化させた場合の典型的な増幅曲線を示す一群のグラフであり、バンプが -0.06mm に向かって調節されたときに第1のねじれモード共振の振幅が減少することを示す図である。

【図13】図12に示される一連のグラフから抜粋したバンプが -0.06mm の場合の増幅曲線を示すグラフであり、スライダの第1のねじれ共振の動きが効果的に

22

なくなることを示す図である。

【図14】本発明の原理に従った、タイプ8サスペンションに関して 2.5kHz でバンプの大きさをプラスからマイナスにわたって変化させた場合に集められた実際のテストデータと理論上の計算とがほぼ一致することを示すグラフを示す図である。

【図15】タイプ8HGAに関して第1のねじれモード共振振幅対オフセットおよびバンプの等高線プロットであり、 1dB の等高線が本発明の原理に従った理想的な目標の設計を示し、かつ影をつけた部分が先行技術の設計の特性の等高線を示す図である。

【図16】本発明の原理に従ったタイプ8HGAに関して、スウェイモードの共振周波数をプラスおよびマイナスのバンプの関数として表わしたグラフを示す図である。

【図17】本発明の原理に従ったタイプ8HGAに関して、スウェイモードの共振周波数をプラスおよびマイナスのオフセットの関数として表わしたグラフを示す図である。

【図18】タイプ8HGAの第1のねじれモードの共振周波数での振幅をZ高度パラメータの変化の関数として表わすグラフを示す図である。

【図19】(A)～(C)はそれぞれ、ばねで負荷がかけられるローラを用いた負荷ビーム形成プロセスにおける形成ステップを順に示す図である。

【図20】(A)～(C)は、ダイ圧縮を用いた負荷ビーム形成プロセスにおける形成ステップを順に示す図である。

【図21】本発明の原理に従った、負荷がかけられた状態にあるHGAの数学モデルに用いられる公称上のHGA識別パラメータを示す図である。

【図22】降伏応力が 200KSI である場合の、タイプ8HGAの塑性の曲率と全曲率との非線形の関係を表わすグラフを示す図である。

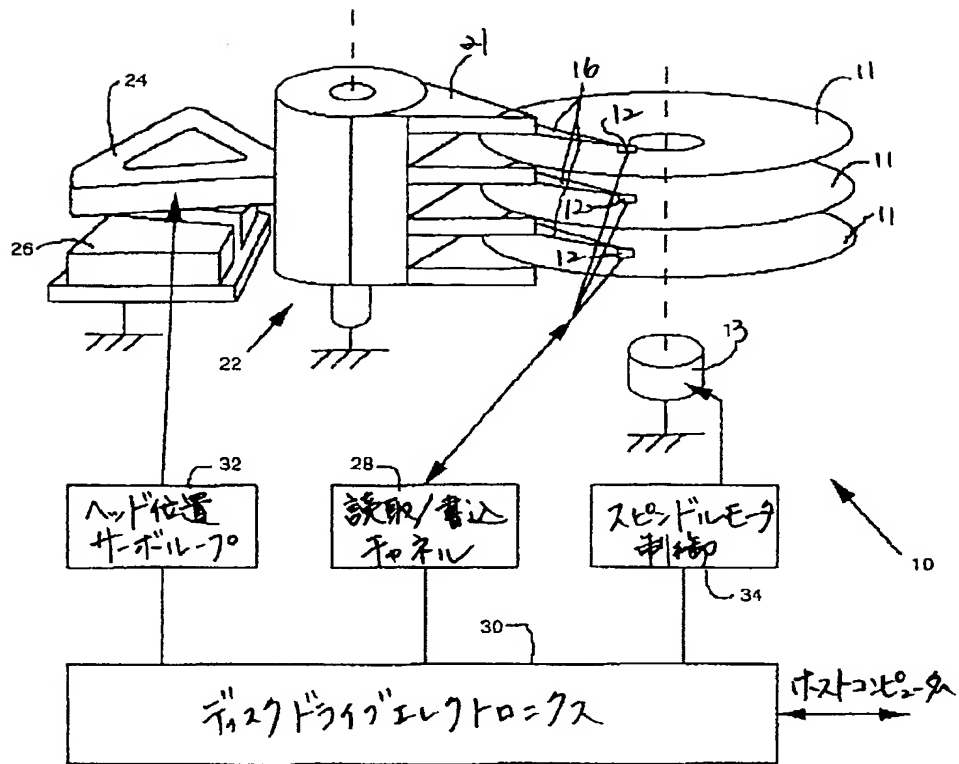
【図23】本発明の原理に従った、負荷がかけられた状態にある場合、および負荷がかけられていない状態にある場合のタイプ8HGAのばねセクションの長手方向の輪郭と、タイプ8HGAのばねセクションをバンプが -0.0343mm となりオフセットが -0.0317mm となるように形成するための形成ダイの形成輪郭を示す一連のグラフを表わす図である。

【図24】タイプ8HGAのばねセクションの長さに沿った塑性の曲率の計算データポイントを示すグラフを示す図である。

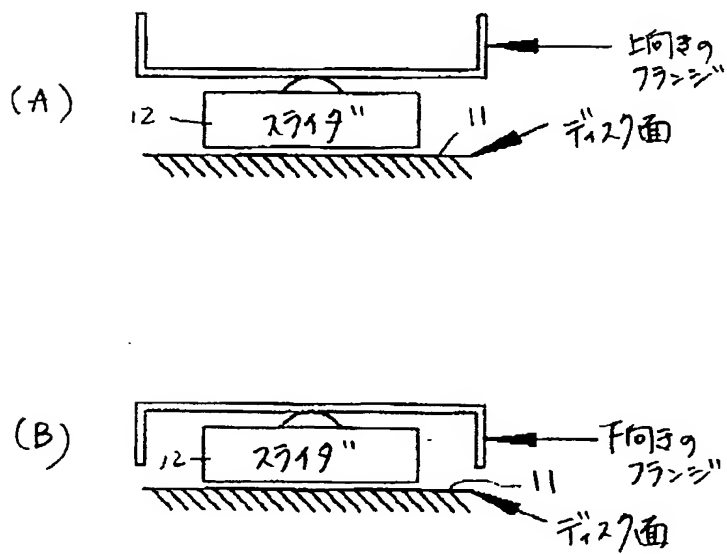
【符号の説明】

- 16 負荷ビーム
- 21 ヘッドアーム
- 50 バンプ
- 56 オフセット

【図1】

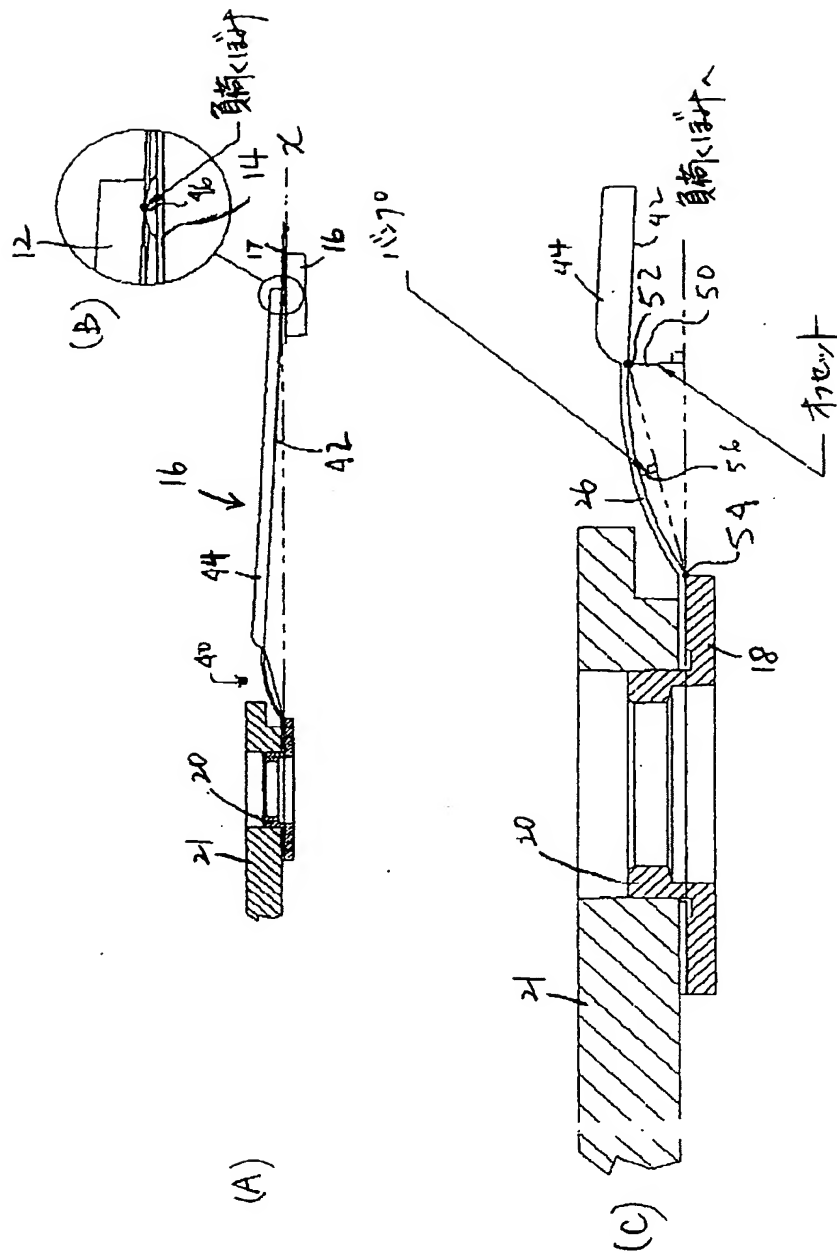


【図3】

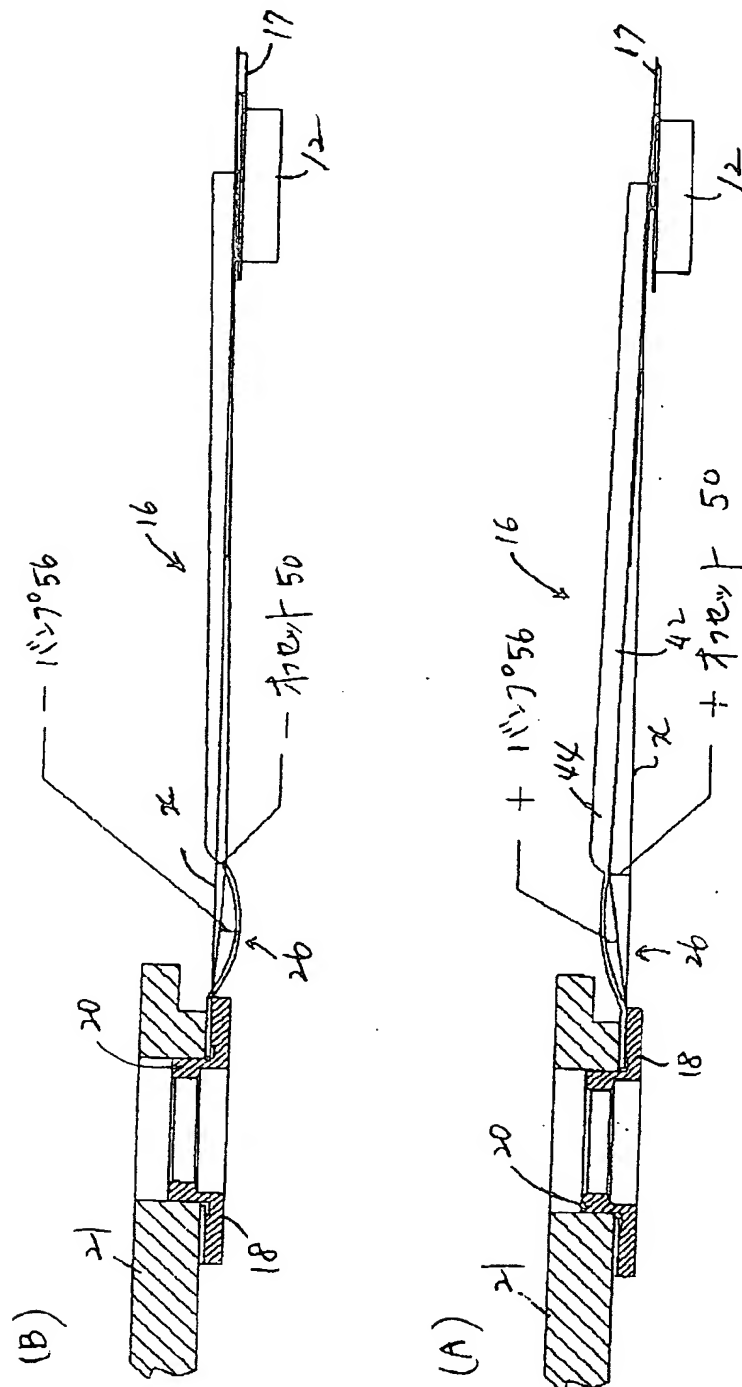


The diagram shows a horizontal beam of total length l . The left end is at $x=0$. A spring support is located at a distance l_s from the left end. A distributed load $k_0(x)$ is applied downwards along the beam. The beam is supported by a roller at the right end, which is at a distance l_f from the spring support. The total length l is indicated by a dimension line at the bottom right. The beam's deflection is denoted by y_2 . The beam's stiffness is given as $EI \frac{d}{dx} k_0(x)$. The text "(歪み抑制モータ)" is written below the beam.

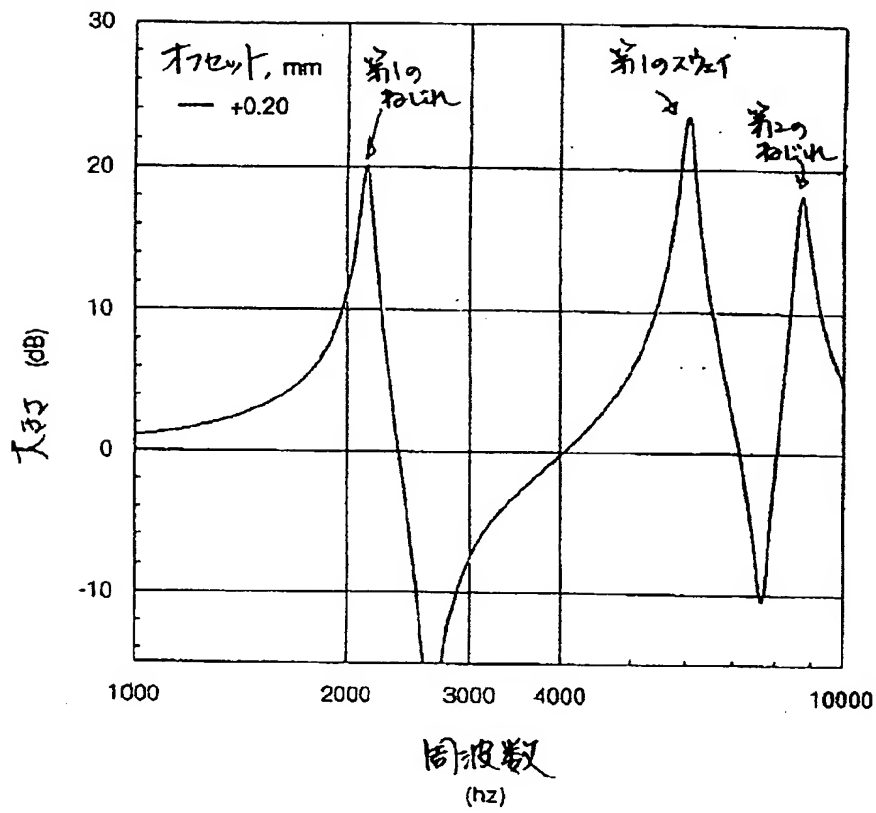
【図4】



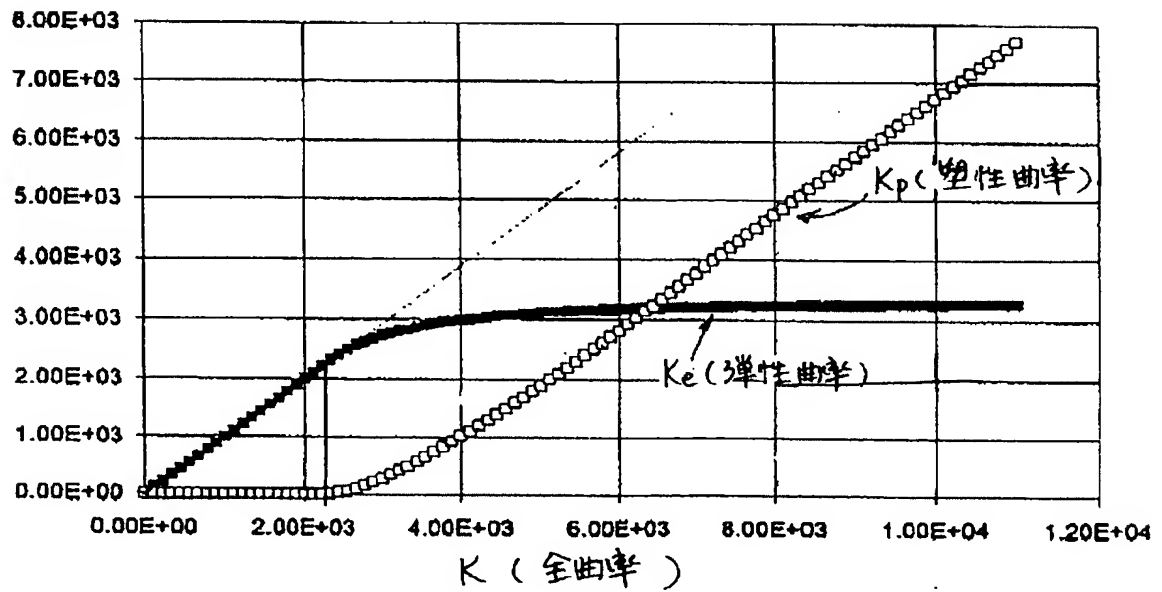
【図 5】



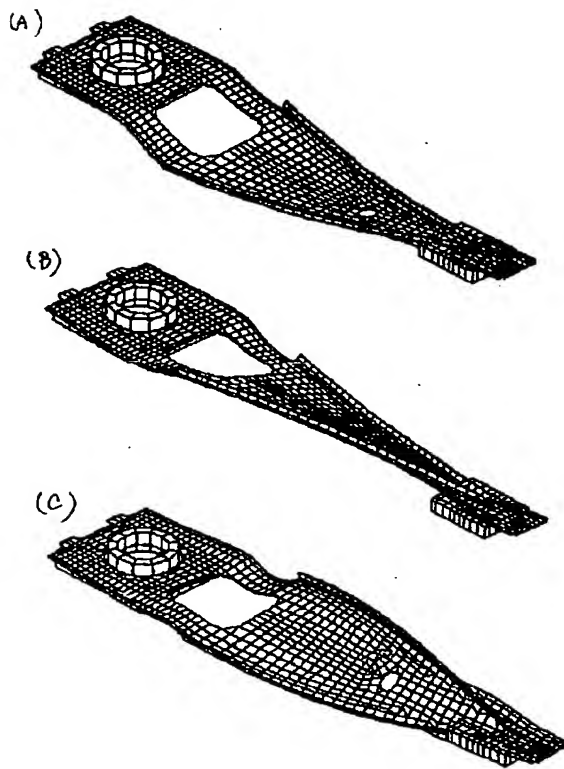
【図6】



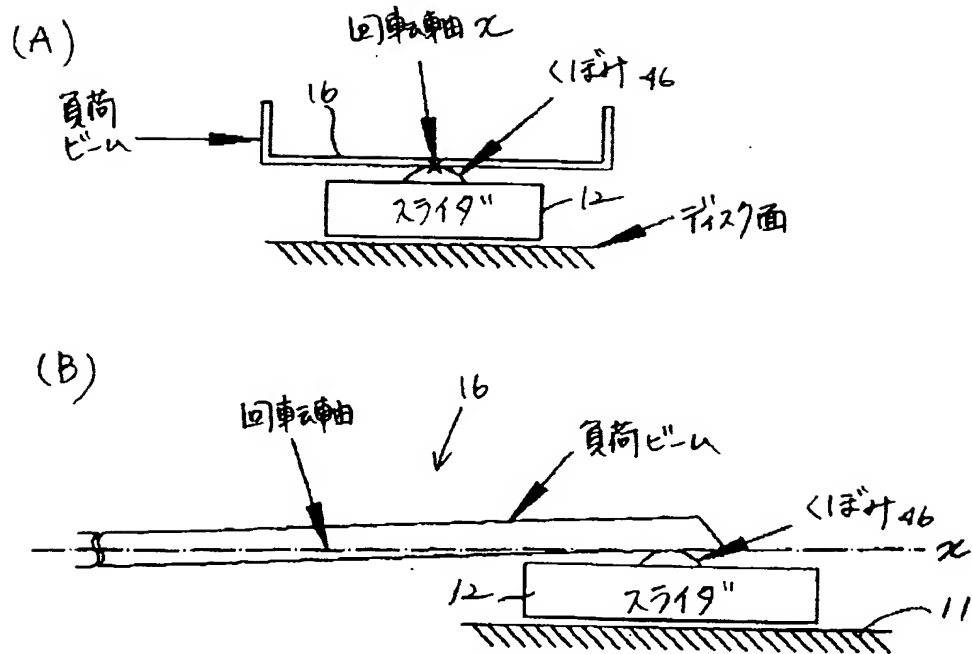
【図22】



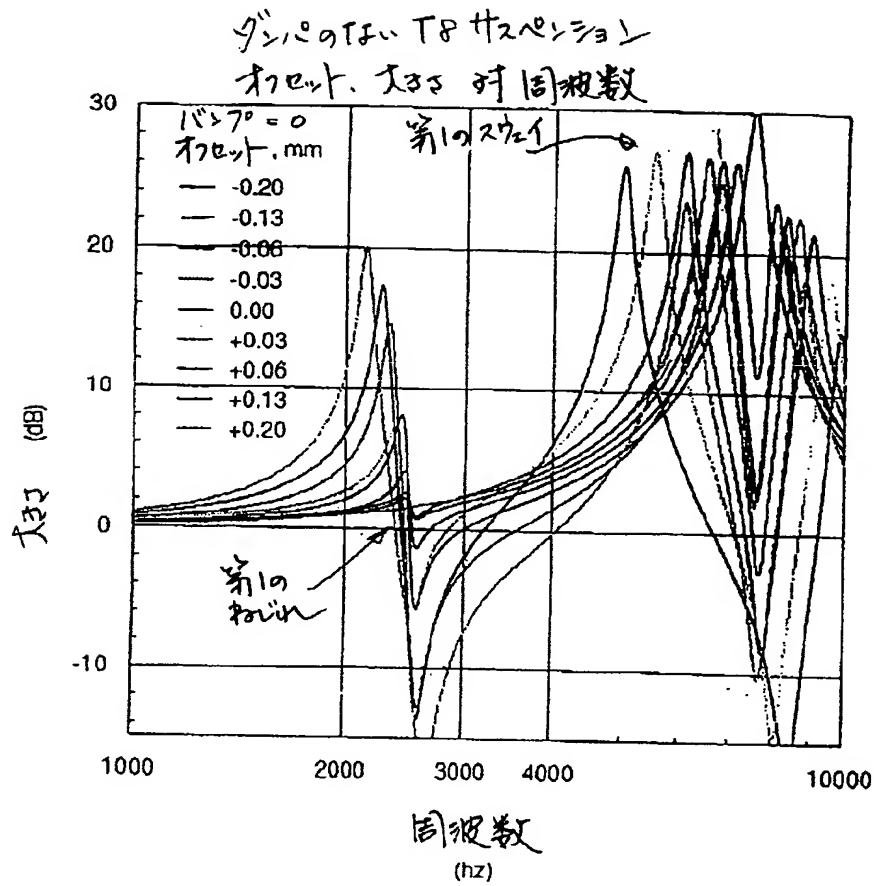
【図7】



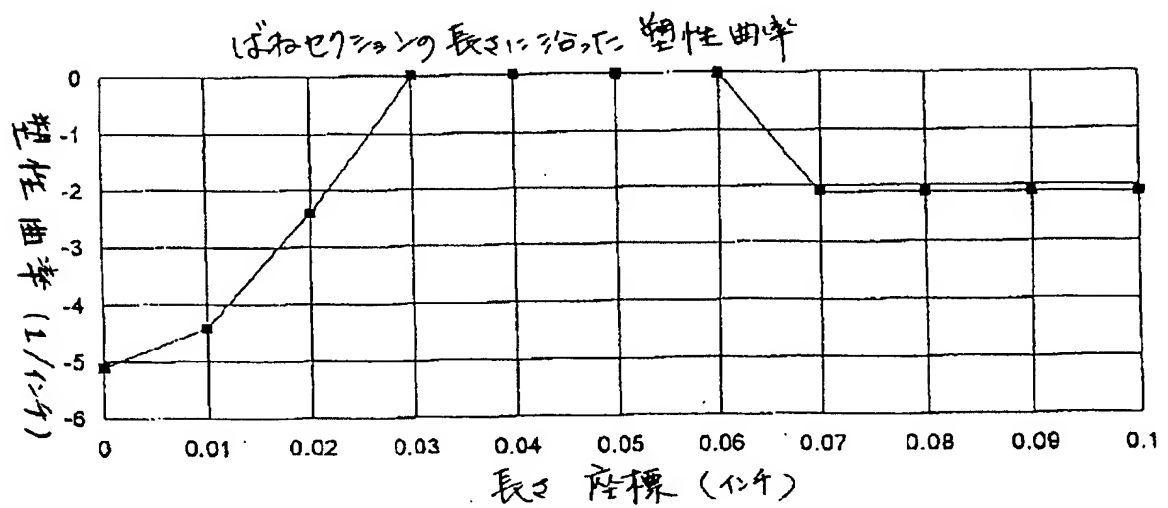
【図8】



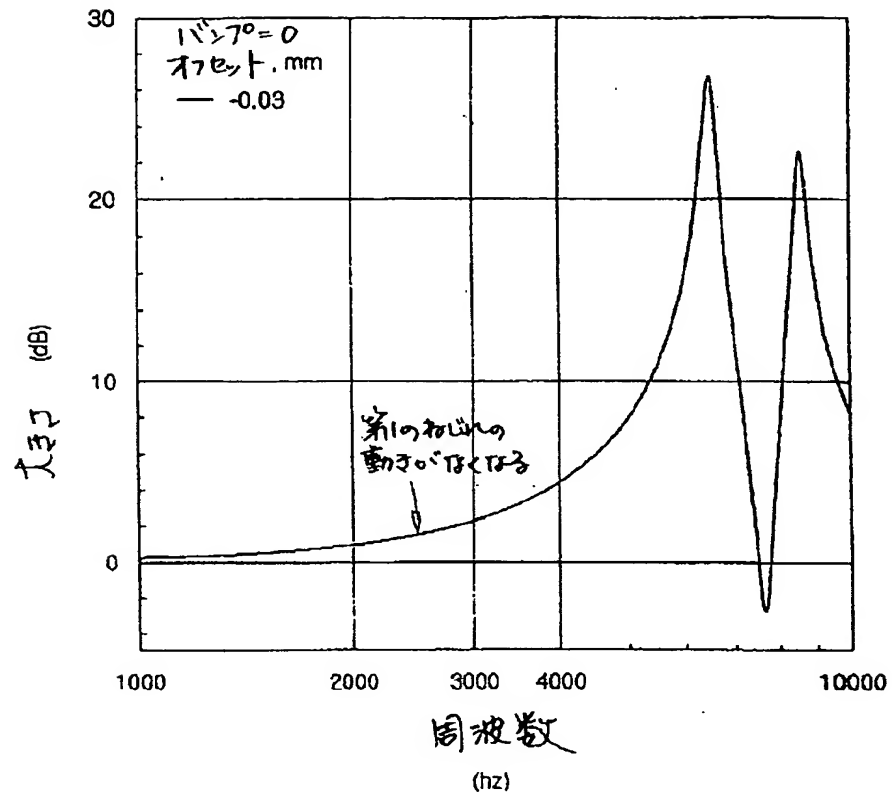
【図9】



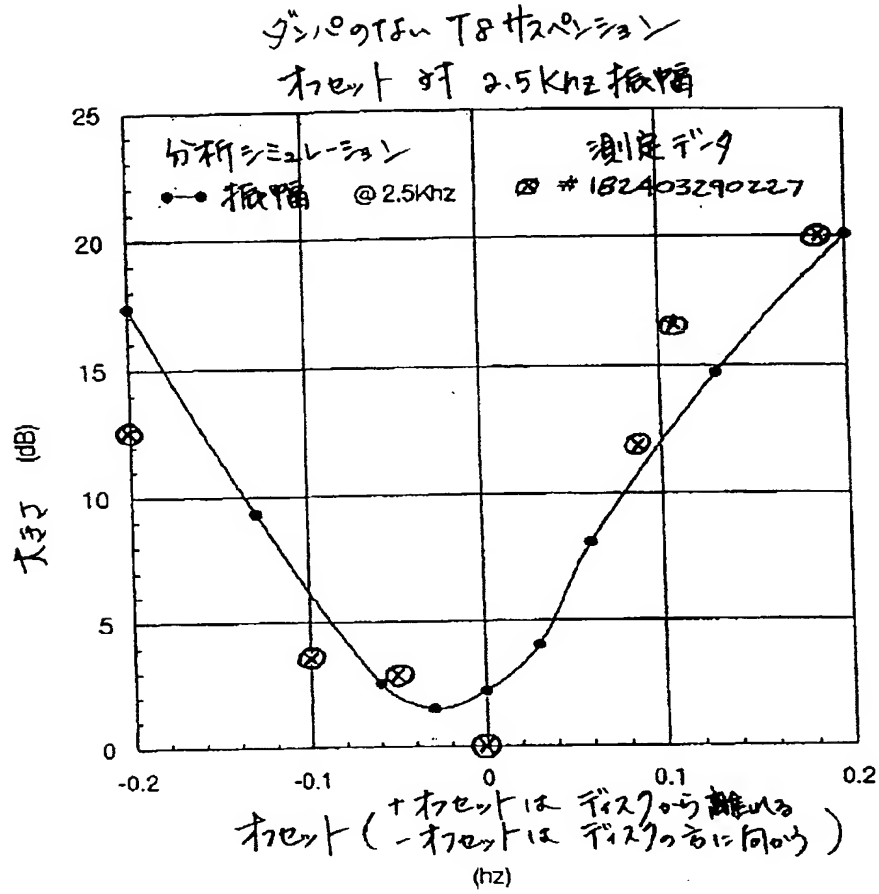
【図24】



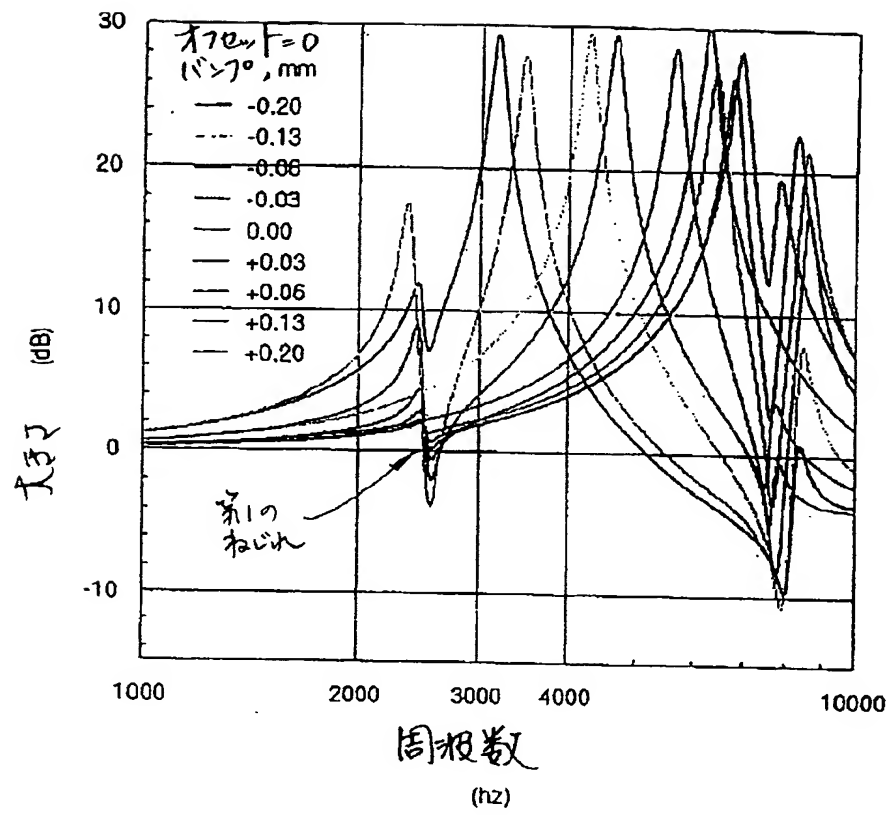
【図10】



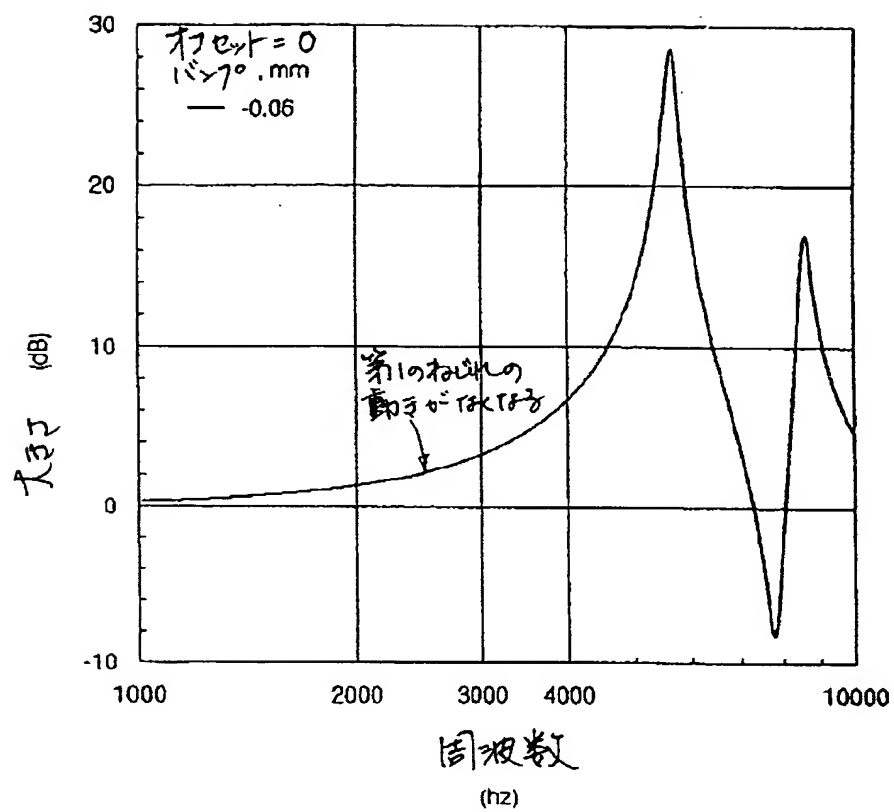
【図11】



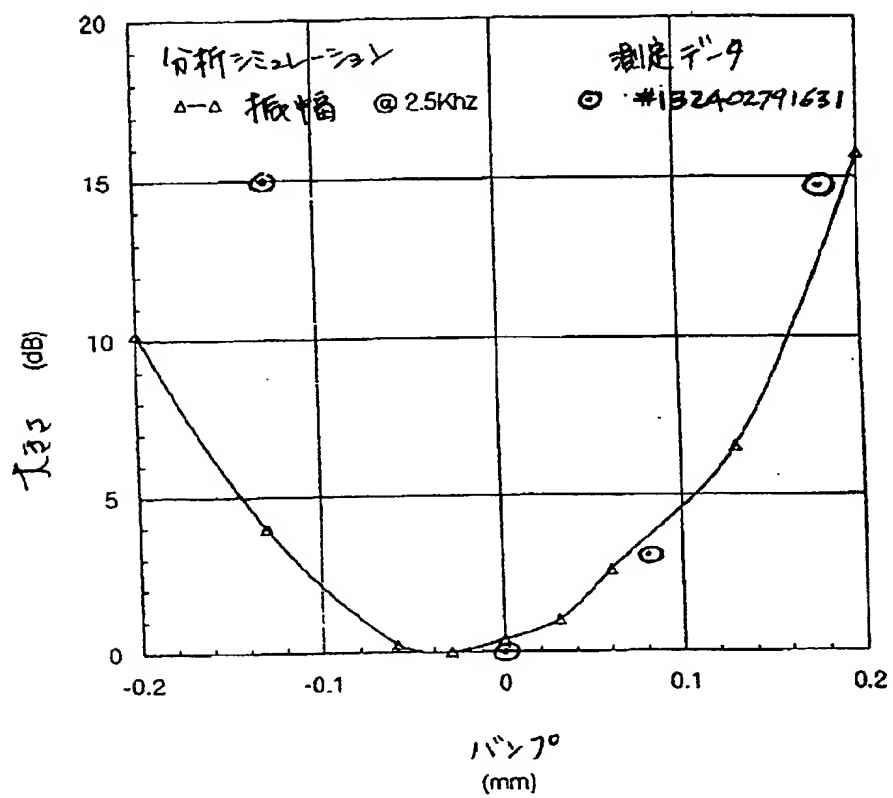
【図 12】



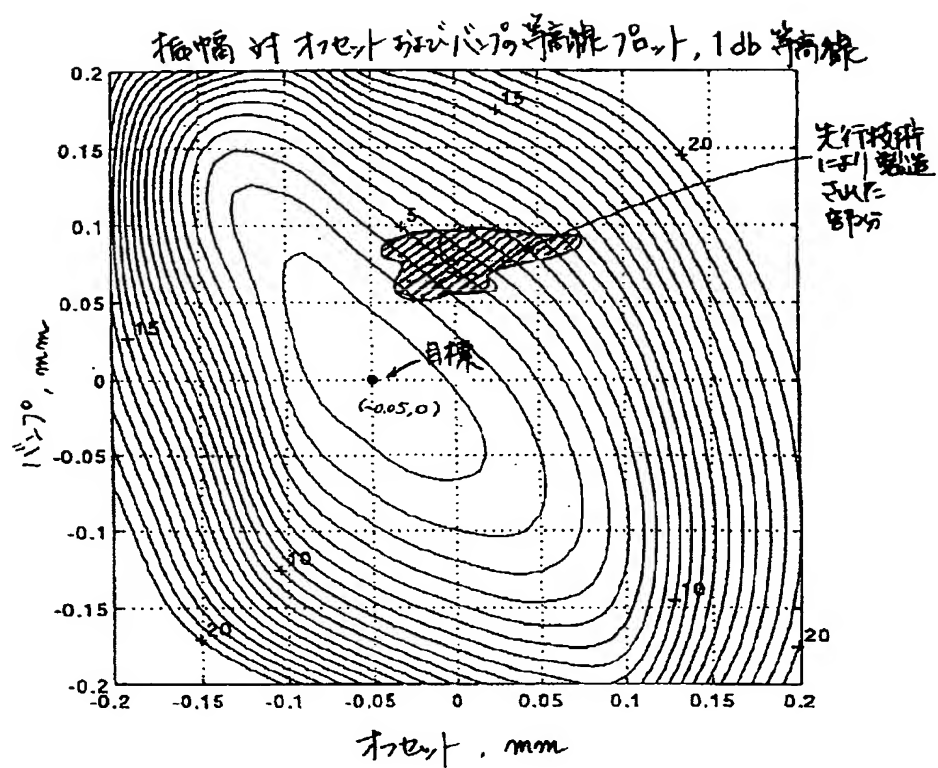
【図13】



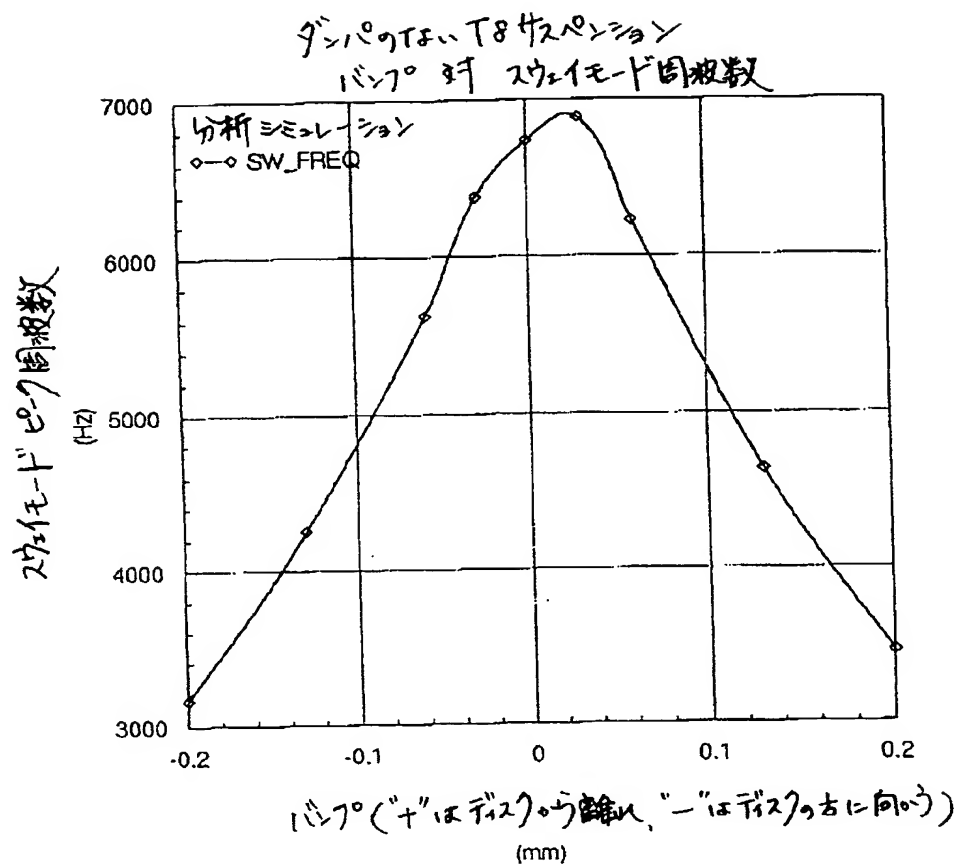
【図14】



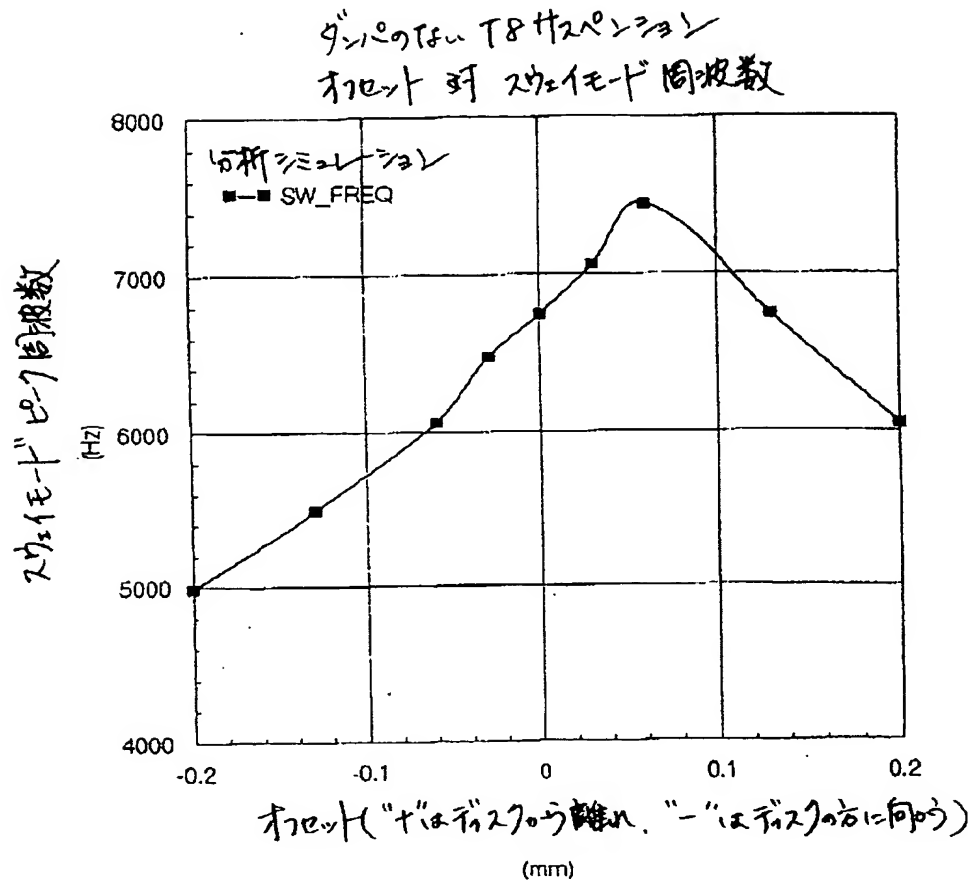
【図15】



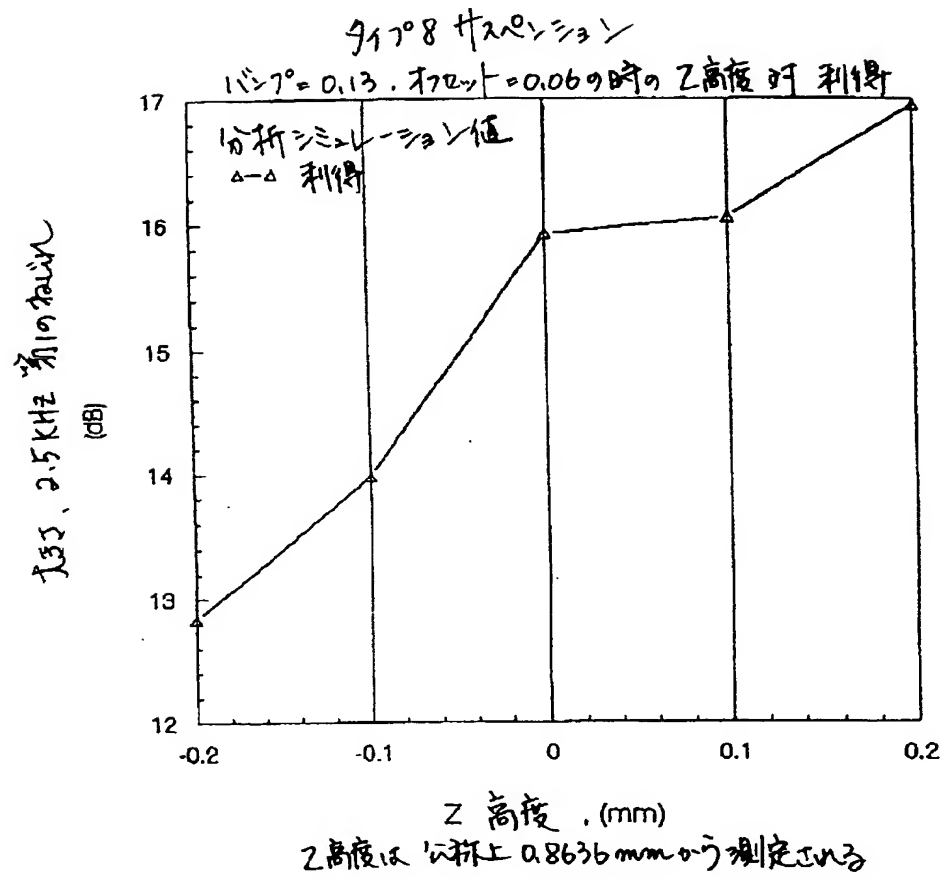
【図16】



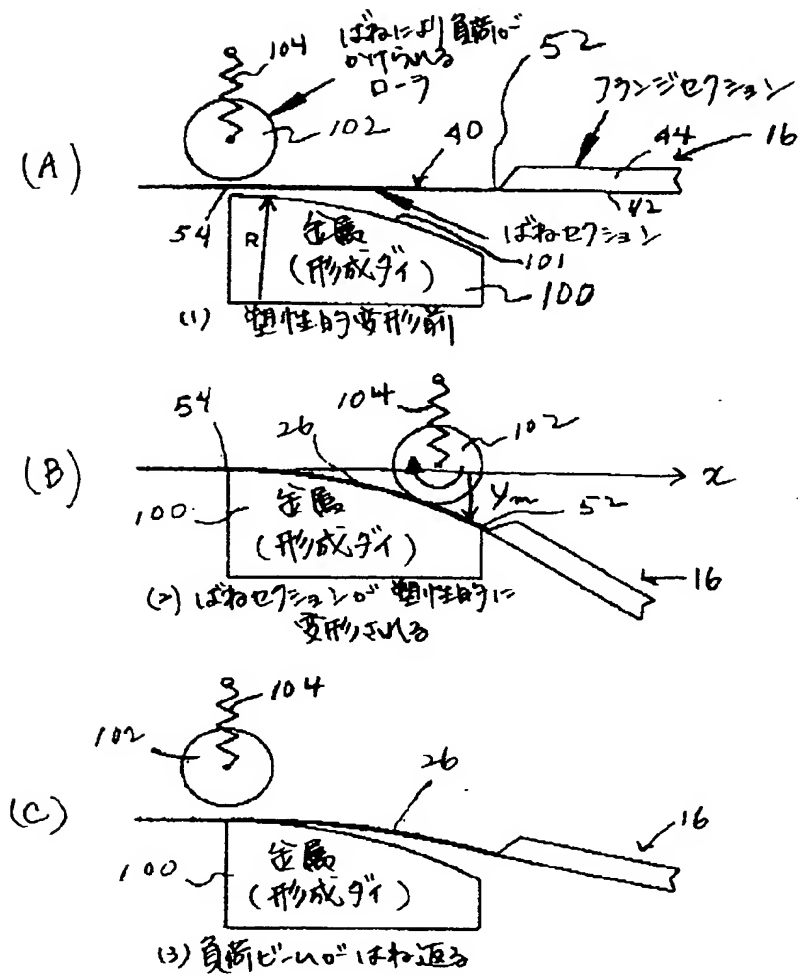
【図17】



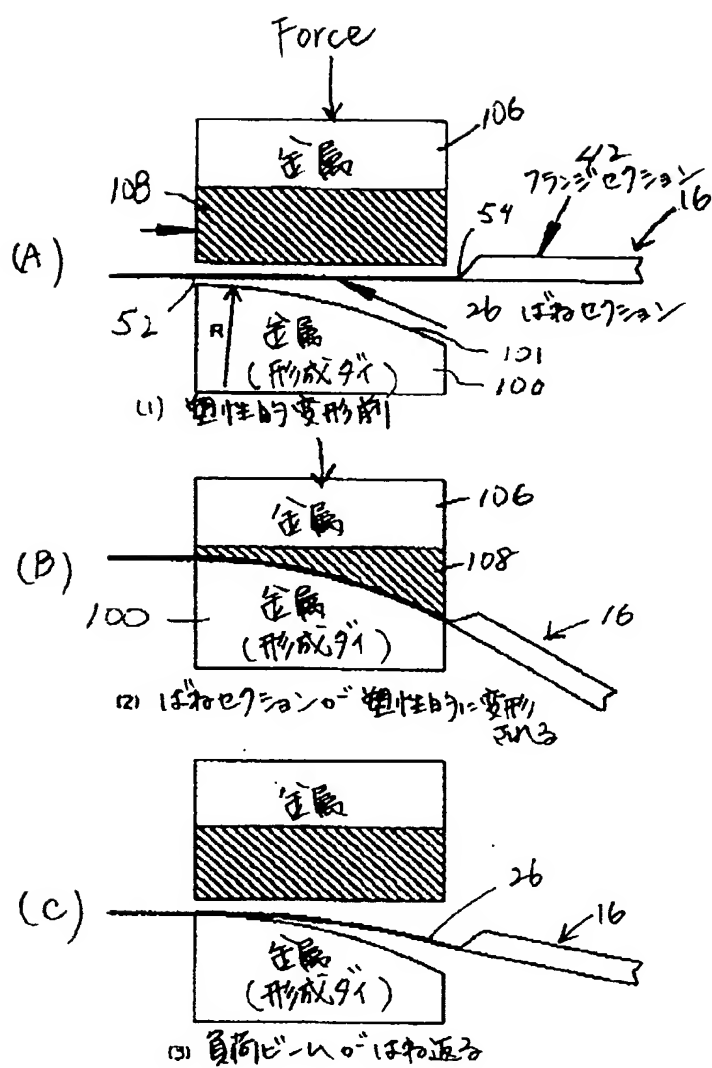
【図18】



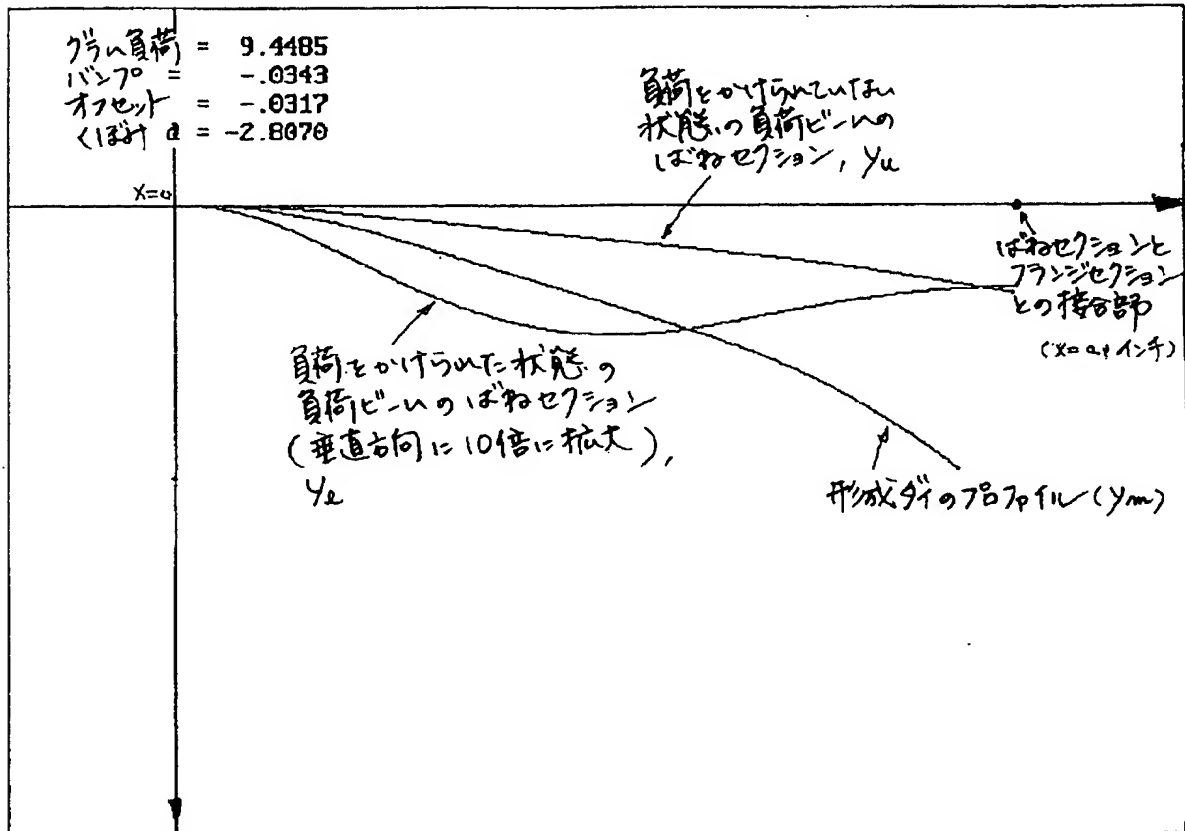
【図19】



【図20】



【図23】



フロントページの続き

(72) 発明者 ステイーブン・ピー・ウィリアムズ
 アメリカ合衆国、95037 カリフォルニア
 州、モーガン・ヒル、サイカモア・ドライ
 ブ、15035

(72) 発明者 ジョーミン・ワン
 アメリカ合衆国、94087 カリフォルニア
 州、サニibel、ダンカーディン・ウェ
 イ、753